Aus dem Zentralinstitut
für Anaesthesiologie und Transfusionswesen
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. R. Schorer

Der Swan-Ganz-Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
CHRISTOPH WIEMER
aus Herne

1983

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547612_0052

Aus dem Zentralinstitut
für Anaesthesiologie und Transfusionswesen
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. R. Schorer

Der Swan-Ganz-Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
CHRISTOPH WIEMER
aus Herne

1983

Dekan:	Professor Dr. W. Frommhold
1. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Junger
2. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Seboldt

---

gedruckt bei H.- J. Köhler · Reprogrfaischer Betrieb · Tübingen

Danken für die freundliche Mitarbeit bei den Dreharbeiten möchte ich Herrn OA Prof. Dr. H. Junger, Herrn Dr. van Deyk, der ganzen Intensivstation der Chirurgischen Klinik Tübingen, dem DRK Tübingen, Frau Radam, Herrn Dr. Schulze, insbesondere aber den Herren Eiben und Müller vom Fotolabor der Chirurgischen Klinik. Ohne sie hätte ich die Unzahl kleiner Detailprobleme, die einen beim Filmen in der Klinik erwarten, nicht lösen können.

MEINEN ELTERN

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	4
3.	AUFBAU DES SWAN - GANZ KATHETERSYSTEMS	13
4.	HANDHABUNG	20
5.	VORZÜGE DES SWAN - GANZ KATHETERS	32
6.	INDIKATIONEN	37
7.	KOMPLIKATIONEN	43
8.	AUSSAGEMÖGLICHKEITEN	55
9.	DISKUSSION	78
10.	ZUSAMMENFASSUNG	82
11.	ANHANG	84

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

A	alveolär
a	arteriell
A-a D_{O_2}	alveoloarterieller Sauerstoffgradient
a-$\bar{v}$ DC_{O_2}	arteriovenöse Sauerstoffdifferenz
CA_{O_2}	alveolärer Sauerstoffgehalt
Ca_{O_2}	arterieller Sauerstoffgehalt
Cc_{O_2}	pulmonalkapillärer Sauerstoffgehalt
CJ	Herzindex
CO_2	Kohlendioxid
$C\bar{v}_{O_2}$	gemischtvenöser Sauerstoffgehalt
EDPAP	enddiastolischer Pulmonalarteriendruck
EDVP	enddiastolischer Ventrikeldruck
EKG	Elektrokardiogramm
F_{IO_2}	Sauerstoffkonzentration der Inspirationsluft
HMV	Herzminutenvolumen
HZV	Herzzeitvolumen
LVEDP	linksventrikulärer enddiastolischer Druck
LVSWJ	linksventrikulärer Schlagarbeitsindex
MAP	arterieller Mitteldruck
O_2	Sauerstoff
O_2'x' ratio	Sauerstoffextraktionsrate
PAMP	Pulmonalarterienmitteldruck
PAP	Pulmonalarteriendruck
PA_{O_2}	alveolärer Sauerstoffpartialdruck
Pa_{O_2}	arterieller Sauerstoffpartialdruck
PA_{CO_2}	alveolärer Kohlendioxidpartialdruck
Pa_{CO_2}	arterieller Kohlendioxidpartialdruck
PA_{H_2O}	alveolärer Wasserdampfdruck
P_B	atmosphärischer Druck

PCWP	pulmonaler Kapillarverschlußdruck, Wedge-Druck
Pc_{O_2}	pulmonalkapillärer Sauerstoffpartialdruck
PEEP	positiv endexpiratorischer Druck
$P\bar{v}_{O_2}$	gemischtvenöser Sauerstoffpartialdruck
$P\bar{v}_{CO_2}$	gemischtvenöser Kohlendioxidpartialdruck
PVR	Gesamtwiderstand im Lungenkreislauf
$\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$	Rechts-links-Shunt
RVEDP	rechtsventrikulärer enddiastolischer Druck
RVSWJ	rechtsventrikulärer Schlagarbeitsindex
Sa_{O_2}	arterielle Sauerstoffsättigung
$S\bar{v}_{O_2}$	gemischtvenöse Sauerstoffsättigung
TPR	Gesamtwiderstand im Körperkreislauf
v	venös
VES	ventrikuläre Extrasystole
VSW	Ventrikelschlagarbeit
ZVD	zentraler Venendruck

1. EINLEITUNG

1.1. Der Film - ein notwendiges Medium der Fortbildung

Unter diesem Titel erschien im Deutschen Ärzteblatt (40/77) eine sehr eindringliche Dokumentation, die versucht, dem medizinisch-wissenschaftlichen Film für die studentische Ausbildung und ärztliche Fortbildung mehr Gewicht zu verleihen.

Insbesondere heute, bei der großen Zahl an Studenten, besteht für den Lehrfilm eine regelrechte Marktlücke. Gerade wegen den speziellen Möglichkeiten des Filmes wie z.B. die Fähigkeit, das Wichtige überdimensional, einprägsam hervorzuheben, müßte der Film als Lehrmittel nach dem Motto: "Vormachen-Nachmachen-Üben" weit mehr eingesetzt werden.

Den SWAN - GANZ Katheter betreffend, sind Teilaspekte wie "Aufbau des Kathetersystems" und "Handhabung des Katheters" kaum besser als im Film darzustellen. Wie verwirrend und didaktisch ungünstig wäre es, wollte man sich die Technik der Herzkatheterisierung allein durch Lesen "vor Augen führen". Wegen der unbegrenzten "Wiederholbarkeit" im Film ist der Lernerfolg wahrscheinlich noch größer als beim einmaligen Zuschauen am Krankenbett, vor allem ja dadurch, daß im Film wesentliche Ereignisse "von ganz nah" betrachtet werden können.

Die schriftliche Dokumentation geht vom Informations-

gehalt teilweise weit über den Film hinaus und bietet so die Möglichkeit einer eingehenden Beschäftigung mit einzelnen Punkten, die im Film nicht angesprochen werden konnten.

Der Film wendet sich sowohl an Ärzte wie auch an Studenten und Pflegepersonal. Gewisse Grundlagen über Venenpunktion, Vena-Cava Zugänge und Physiologie des Herzens werden im Film wie auch in dieser Dokumentation vorausgesetzt, wenn auch in diesem Manuskript weit mehr auf Zusammenhänge eingegangen wird. Der Zwang zur Beschränkung auf das Wesentliche forderte im Film seinen Preis. Zur Beantwortung offen gebliebener Fragen bieten sich besonders abschließende Diskussionen an.

1.2. Geschichtliche Entwicklung des Herzkatheters

Die Anfänge der physiologischen Drucküberwachung gehen bis in das 18. Jahrhundert zurück. Im Jahre 1773 maß der englische Theologe und Wissenschaftler STEPHAN HALES bei einem nicht narkotisierten Pferd direkt den mittleren Blutdruck. Langsam entwickelte sich die Blutdruckmessung, wobei ausschließlich direkt arteriel eingeführte Kanülen verwandt wurden.

1844 katheterisierte CLAUDE BERNARD den rechten und linken Ventrikel eines Pferdes von der Vena jugularis und der Artetia carotis aus (11). Die klinische rou-

tinemäßige Blutdruckmessung mußte sich bis zur Entwicklung einer nicht invasiven Methode gedulden. 1905 gelang N.S. KOROTKOFF die auskultatorische Messung, womit die Blutdruckmessung nach RIVA ROCCI zur klinischen Routine wurde. Im gleichen Jahr katheterisierte FRITZ BLEICHROEDER in Berlin sich im Selbstversuch mit einem Urethralkatheter die Vena axillaris vom Arm und die Vena cava inf. vom Oberschenkel her (11,20,31). Nur 24 Jahre später wurde der Herzkatheterismus zum ersten Mal von dem deutschen Chirurgen WERNER FORSSMANN im Selbstversuch mit intrakardialer Applikation von Kontrastmittel zur Röntgendarstellung des Herzens und der großen Gefäße durchgeführt.

Wurde hiermit der Anstoß gegeben, so wurde die Rechts- und Linksherzkatheterisierung insbesondere durch die Arbeiten von COURNAND (1947) zu einer Routinemethode in der prae- und postoperativen Vitienuntersuchung.

Ein großer Fortschritt gelang SWAN und GANZ 1970 mit dem mehrlumigen Ballooneinschwemmkatheter, der sich mit Hilfe des Ballons an der Katheterspitze, vom Blutstrom gelenkt, den Weg durch das rechte Herz in die Pulmonalarterie selbstständig sucht. Dieser Katheter soll Gegenstand der folgenden Abhandlung sein (1).

2. PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Die Herzfunktion wird durch fünf Hauptdeterminanten geregelt (21,30).

1) Preload
2) Afterload
3) Kontraktilitätszustand des Myokards
4) Synergie der Ventrikelkontraktion
5) Herzfrequenz

2.1. Preload

Preload (Vorbelastung) wird durch die linksventrikulären Füllungsvolumina und -drucke am Ende der Diastole bestimmt. Diese enddiastolische Faserausgangslänge wird beeinflußt durch das totale Blutvolumen und die momentane Verteilung des Blutvolumens gemäß der aktuellen Körperlage, durch den intrathorakalen und intraperikardialen Druck, die Pumpaktion der Skelettmuskulatur, den Venentonus und der Vorhofkontraktion. Gemäß dem FRANK - STARLING Gesetz wird bei Erhöhung der Faserausgangslänge die Auswurfmenge in Grenzen gesteigert, in dem bei exzessiver Erhöhung der enddiastolischen Ventrikelfüllung keine weitere Steigerung des Schlagvolumens mehr zustande kommt. Die Ventrikelfunktionskurve erreicht ein Plateau, wobei die Kurven für den linken (Fig. 2.1.) und rechten (Fig. 2.2.) Ventrikel einen

deutlich unterschiedlichen Verlauf haben (21).

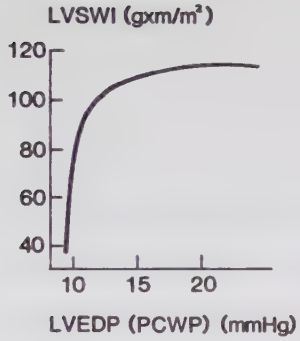

Fig.2.1.

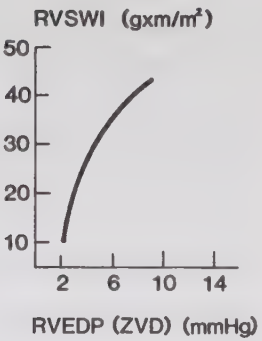

Fig.2.2.

Solange keine Mitralklappenstörung vorliegt, ist der pulmonale Kapillarverschlußdruck (PCWP) ein zuverlässiges Maß für den enddiastolischen linksventrikulären Füllungsdruck, da der Verschlußdruck im wesentlichen vom linken Vorhof aufgebaut wird. Ebenso ist die Verwertbarkeit des PCWP bei bestehenden Lungengefäßveränderungen eingeschränkt, da hierdurch die Druckkurve des linken Vorhofs nicht repräsentant fortgeleitet zu sein braucht. Entsprechend repräsentiert der ZVD den rechtsventrikulären enddiastolischen Druck, solange keine Trikuspidalklappeninsuffizienz vorliegt. Bei

einem Vergleich der Funktionskurven wird deutlich, daß der ZVD zur Beurteilung der Funktion des linken Ventrikels wenig geeignet ist.

2.2. Afterload

Afterload (Nachbelastung) bezeichnet den Widerstand, gegen den das Blut ausgeworfen wird. Er kann im wesentlichen als Ventrikelwandspannung während der Systole definiert werden. Die Wandspannung verhält sich proportional zum Innendruck und zum Radius der Kammer und umgekehrt proportional zur Wanddicke (LAPLACE - Beziehung) (30). Daraus folgt, daß bei gleicher Wandspannung und bei gleicher Wanddicke ein großer Ventrikel mehr Spannung entwickeln muß als ein kleiner. Intraventrikuläre Drucksteigerungen während der Systole korrelieren gut mit der Höhe des Aortendruckes.

2.3. Kontraktilitätszustand des Myokards

Der Kontraktilitätszustand ist definiert durch Kraft und Geschwindigkeit der Ventrikelkontraktion unter konstanten Pre- und Afterloadbedingungen. ($d_p/d_{T_{max}}$ = maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit im linken Ventrikel [Norm: 1850 $\pm$ 147 mm Hg/sec]). Mit Veränderung der Kontraktilität ändert sich auch die Lage der Ventrikelfunktionskurve. Bei hoher Kontraktilität verläuft die Funktions-

kurve steil, bei niedriger flach. Ein Vergleich mehrerer zu verschiedenen Zeiten aufgestellter Funktionskurven läßt eine Beurteilung der Herzfunktion zu, ob etwa eine Verbesserung (Verschiebung der Kurve nach links und oben) oder eine Verschlechterung (Verschiebung nach rechts und unten) eingetreten ist (22).

2.4. Synergie der Ventrikelkontraktion

Bei normalem Erregungsablauf zeigt die Wand des linken Ventrikels im Kineangiokardiogramm während der Kontraktion eine mehr oder weniger konzentrische Einwärtsbewegung. Der koordinierte Kontraktionsablauf ist entscheidend für die Pumpfunktion. Gestörte Reizleitung in den Kammern, wie z.B. bei Linksschenkelblock und Aneurysmen, resultiert in einem gestörten unkoordinierten Kontraktionsablauf, der die Auswurfleistung beeinträchtigt, obschon jeder einzelne Kammerabschnitt normale Kontraktilität aufweisen kann (30).

2.5. Herzfrequenz

Beim Herzgesunden führen Herzfrequenzsteigerungen innerhalb des physiologischen Bereichs kaum zu einer Änderung des Herzzeitvolumens, obschon das HZV das Produkt aus Schlagvolumen und Herzfrequenz darstellt. Wohl aber

bewirkt eine Frequenzsteigerung über den Bowditch - Reflex eine Kontraktilitätssteigerung (Treppenphänomen).

2.6. Faktoren, die die Herzdynamik beeinflussen (21)

A) Chronotrope

Adrenerge Stimuli

Vagale Stimuli

Belastung

Arrhythmien

Vorhofstimulation

B) Inotrope

Primäre Erkrankungen des Myokards

Coronarsklerotische Myokardiopathien

Erkrankungen des Endokrinums (z.B. Hyper-Hypothyreose)

Medikamente: Inotropika, Cardiodepressiva

C) Zustände, die das Afterload beeinflussen

Aortenstenose

I.H.S.S. (Idiopathische Hypertrophe Subaorten-Stenose)

Hochdruck

Vasokonstriktion (TPR↑)

Medikamente: Vasopressoren, Vasodilatoren

D) Zustände, die das Preload beeinflussen

Aorteninsuffizienz

Mitralinsuffizienz

Mitralstenose

Myxom des linken Vorhofs

Medikamente: Inotropika, Sympatholytika, Vasodilatoren, Diuretika

E) Verschiedene

Geschlecht

Alter

Körperpflege

Schwangerschaft

Tagesrhythmus

Erkrankungen des Perikards

Erkrankungen des Gefäßsystems

Leitungsanomalien: Links- Rechtsschenkelblock

Lungenerkrankungen, besonders chronische

2.7. Synopsis der Normalbefunde

Normale Sauerstoffsättigung im Herzen und in den großen Gefäßen.

In den Hohlvenen, dem rechten Vorhof, der rechten Kammer und den Pulmonalarterien beträgt die Sauerstoffsättigung normalerweise annähernd 75% (Sauerstoffgehalt 15 Vol%). Die Sättigungswerte der rechten Herzkammer zeigen geringfügige phasische Schwankungen, die sich am stärksten im rechten Vorhof auswirken, wo sich Blut aus den Nierenvenen (relativ hoher Sättigungsgrad), den Lebervenen (relativ niedriger Sättigungsgrad), dem Ko-

ronarsinus (extrem niedriger Sättigungsgrad) und der unteren und oberen Hohlvene (mittlerer Sättigungsgrad) zu mischen beginnt. Die Mischung ist wahrscheinlich abgeschlossen, sobald das Blut in die Pulmonalarterie eintritt. Das mit dem Katheter aus den Lungenkapillaren (wedge - position) entnommene Blut ist nahezu vollständig gesättigt (97 bis 99%) und entspricht dem pulmonalen Venenblut. Blut aus dem Kapillarbett weist einen Sättigungsgrad von mindestens 97% auf (Sauerstoffgehalt 19,3 Vol% bei einer O_2-Kapazität von 20 Vol%). Beim Eintritt in den linken Vorhof ist die Sättigung etwas geringer, da Blut über arteriovenöse Shunts in der Lunge und andere kleinere Kurzschlüsse hinzukommt.

Vorhof- und Lungenkapillardruck ("wedge pressure")

Die phasischen Drücke im rechten und linken Vorhof sowie der Lungenkapillardruck - im wesentlichen ein etwas verzögerter linker Vorhofdruck - zeigen im großen und ganzen einen ähnlichen Verlauf mit geringen Unterschieden in der Ampitudenhöhe und im zeitlichen Ansatz der Phasenkomponenten. Bei Vorliegen eines normalen Sinusrhythmus zeigt der Druckpuls typischerweise eine durch die Vorhofkontraktion zustandekommende a-Welle, die mit dem Abschluß der atrialen P-Welle im EKG zusammenfällt. Im EKG folgt auf die P-Welle nach kürzerer Verzögerung der QRS-Komplex als Zeichen der Depolarisation des Kammermyokards. Unmittelbar nach der Depolarisation setzt die Kammerkontraktion ein. Die atrioventrikulären Klap-

pen schließen sich, und die Größenänderung des Vorhofs sowie die durch die Kammerkontraktion bedingte Vorwölbung der Klappen gegen den Vorhof erzeugen im atrialen Druckprofil eine c-Welle. Nach der c-Welle sinkt der Druck als Reaktion auf die weitere Volumenänderung des Vorhofs bei andauernder Kammerkontraktion wieder ab (x-Tal), um bis zum Ende der Systole aufgrund des venösen Zustroms wieder anzusteigen (v-Welle). Die v-Wellenspitze fällt zeitlich mit der Öffnung der Mitral- und Trikuspidalklappe zusammen. Beim Übertritt des Blutes vom Vorhof in die Kammer sinkt der Druck (y-Tal).

Ventrikeldruck

Rechte und linke Herzkammer haben einander sehr ähnliche Druckprofile. Der einzige Unterschied besteht in der Amplitude des systolischen Druckmaximums, das in der linken Kammer fünfmal so hoch ist wie in der rechten. Die beiden Herzkammern beginnen sich ungefähr 6 Millisekunden nach dem QRS-Komplex im EKG zu kontrahieren, wobei die Kontraktion des rechten Ventrikels zeitlich der des linken vorangeht. Gleichzeitig schliessen sich die atrioventrikulären Klappen, und der Ventrikeldruck steigt. Während der darauf folgenden Phase der isovolumetrischen Kontraktion, die rechts eine und links vier Millisekunden dauert, bleiben die Volumina unverändert.

Übersteigt der Ventrikeldruck den enddiastolischen

Druck in der Pulmonalis und der Aorta, öffnen sich die Semilunarklappen, und die Austreibungsphase beginnt. Während der Austreibungsphase herrschen in rechter Kammer und Pulmonalis bzw. in linker Kammer und Aorta bis zum Abschluß der Systole jeweils phasengleiche Drücke.

Am Ende der Systole schließen sich die Semilunarklappen wieder, und der Ventrikeldruck beginnt zu sinken. Darauf folgt die kurze isovolumetrische Relaxation. Sobald der Ventrikeldruck unter den Vorhofdruck sinkt, öffnen sich die atrioventrikulären Klappen. Damit beginnt die Diastole. Kammer und Vorhof füllen sich mit venösem Blut und ergeben deckungsgleiche Druckkurven.

Aorten- und Pulmonalisdruck

Wie bereits erwähnt, herrschen in der Kammer und der Aorta bzw. Pulmonalis während der Austreibungsphase analoge Druckverhältnisse. Die Druckkurven zeigen einen steilen Anstieg auf ein Druckmaximum mit nachfolgendem langsameren Abstieg bis zur dikroten Welle, die den Klappenschluß der Aorta- und Pulmonalklappe anzeigt. Danach fällt der Druck aufgrund des Übertritts von arteriellem Blut in das venöse System durch das Kapillarbett langsam weiter ab bis zum Beginn der nächsten Austreibungsphase, um dann wieder steil anzusteigen.

3. AUFBAU DES SWAN - GANZ KATHETERSYSTEMS

(Flow-Directed Balloon-Tipped Catheter) (1,6,19,20,21, 22,24,25,26,28,31).

Das System besteht aus:

A) SWAN - GANZ Katheter

B) Druckaufnehmer (Transducer)

C) Druckmeßverstärker mit Anzeigegerät

D) Schreiber

3.1. Der SWAN - GANZ Katheter

Der von SWAN und GANZ 1970 erstmalig vorgestellte Katheter ist ein aus Polyvinyl-chlorid hergestellter zweilumiger Ballonkatheter. Eine der meist benutzten Weiterentwicklungen verfügt über drei Lumina und einer Thermistorsonde. Der Katheter ist 110 cm lang und ist mit zwei bzw. drei Lumina in den Größen 5 F, 7 F und für Kinder 4 F im Handel (1 F = 1 French, entspricht 0,33 mm Außendurchmesser).

Der sich an der Katheterspitze befindende Latexballon wird via einem kleinen Lumen in der Wand des Katheters mit 0,8 bis 1,0 ml CO_2 gefüllt. Das Berstvolumen beträgt ca. 3 ml. Der Ballon hat als Aufgabe den Katheter durch das rechte Herz in die Pulmonalarterie, geführt vom Blutstrom, zu dirigieren. Weiterhin ermöglicht er auf sehr einfacher Weise die Messung des pulmonalen

Kapillarverschlußdruckes und die Entnahme des pulmonalen Venenblutes.

Das Hauptlumen endet an der Spitze des Katheters, welche in situ in einem Ast der A. pulmonalis zu liegen kommt. Dieses distale Lumen wird zur kontinuierlichen Drucküberwachung an ein Druckwandlersystem (Transducer) angeschlossen. Sofern der Ballon nicht belüftet ist, wird der Pulmonalarteriendruck, ist er belüftet so wird der Kapillarverschlußdruck (wedge-pressure) gemessen. Zur Vermeidung von Blutgerinnsel wird dieses Lumen an ein Dauerperfusionssystem angeschlossen, sodaß der Katheter bei einem Minimum an zugeführter Flüssigkeit, der je nach Indikation Heparin zugesetzt werden kann, (auf 500 ml phys. NaCl 10 mg Heparin) durchgängig bleibt. Blutproben aus diesem Lumen entsprechen bei korrekter Lage in der Pulmonalis und nicht aufgeblasenem Ballon dem gemischt-venösem Blut, in wedge-position dem pulmonalen Venenblut. Bei Entnahme einer Blutprobe sollten die ersten 10 ml Blut verworfen werden, damit eine Kontamination mit der im System befindlichen heparinhaltigen Flüssigkeit vermieden wird. Wegen der Thrombosierungsgefahr des Katheterlumens sollte das Entnehmen von Blutproben mit Hilfe des Katheters unterbleiben und nur bei dringenden Fragestellungen, bei denen gemischtvenöses oder pulmonalvenöses Blut benötigt wird, durchgeführt werden.

Das dritte Lumen - ebenso wie das Ballonlumen wandsständig - endet 30 cm proximal vom distalen Katheterende.

In situ liegt somit die proximale Öffnung in der Vena cava sup. am Übergang zum rechten Vorhof oder in diesem selbst. Auch dieses Lumen kann an einen Transducer zur Messung des zentralvenösen Druckes angeschlossen werden. Ferner kann es zur Entnahme von Blutproben und zur Infusion von Flüssigkeiten, wie es zur Herzzeitvolumenbestimmung mittels der Thermo- bzw. Dyedilutionsmethode notwendig ist, benutzt werden. Bei der Dilutionsmethode ist die exakte Position der proximalen Öffnung sehr wichtig. Um einer Thrombosierung dieses Lumens vorzubeugen, ist auch hier eine heparinisierte Dauerspülung anzuraten (auf 1000 ml 10-20 mg Heparin).

Ca. 1 cm proximal vom distalen Katheterende befindet sich eine Thermistorsonde, deren elektrischer Kabelanschluß sich am proximalen Ende des Katheters befindet. Mit der Thermistorsonde kann nach der Thermodilutionsmethode das Herzzeitvolumen bestimmt werden. Dazu wird durch das proximale Lumen kalte (0-5^{o}C) Kochsalzlösung infundiert und mit dem Thermistor die dadurch bedingte Abkühlung des Blutes elektrisch gemessen. Das Ausmaß der Abkühlung ist umgekehrt proportional zum Blutstrom; je kühler das Blut, um so geringer der Volumendurchfluß d.h. um so geringer das Herzzeitvolumen und umgekehrt. Die Vorteile dieser Meßtechnik sind 1. keine Blutentnahmen, 2. ein billiger Indikator, 3. einfache und reproduzierbare Eichung und 4. praktisch keine Rezirkulationsspitze. Liegt jedoch eine Trikuspidalklappen-

insuffizienz oder ein Links-Rechts-Shunt vor, kann das Herzzeitvolumen mit dieser Methode nicht exakt bestimmt werden.

Um eine Kontrolle darüber zu haben, wie weit der Katheter bereits vorgeschoben wurde, sind alle zehn Zentimeter Markierungen angebracht.

Neben diesem SWAN - GANZ-Katheter gibt es noch verschiedene andere Herzkatheter. Gewöhnlich sind sie aus Dacron, Polyäthylen oder Polyurethan. Einige sind verstärkt durch ein Stahlgeflecht, um den hohen Innendrücken bei der Angiographie zu widerstehen. Tipmanometerkatheter tragen den Druckwandler an der Katheterspitze, weiterhin gibt es Katheter mit einer Fiberglasoptik zur kontinuierlichen Überwachung der gemischtvenösen Sauerstoffsättigung ($S\bar{v}\ O_2$) oder mit Elektroden zur intrakardialen EKG-Ableitung (11).

3.2. Druckaufnehmer (Transducer)

Bei dem SWAN - GANZ Katheter handelt es sich um einen flüssigkeitsgefüllten Katheter mit externem Druckrezeptor (24). Das Prinzip der Druckmessung beruht bei diesen Kathetern darauf, daß der Druck, der auf die Katheterspitze wirkt, über eine Flüssigkeitssäule auf die Druckwandlermembran übertragen wird. Je nach Druckwandlertyp wird die Membranbewegung in eine Widerstands- , Kapazitäts- oder Induktionsänderung umgewandelt, aus der

mit entsprechenden Verstärkern eine druckproportionale Spannung gewonnen wird. Häufigste Verwendung finden Druckwandler mit einer vollständigen Widerstandsbrücke (Wheatstonesche Brücke) aus Dehnungsmeßstreifen. Bei diesen wird gleichzeitig in jeweils zwei gegenüber liegenden Brückenzweigen der Widerstand durch die Membranauslenkung vergrößert bzw. verkleinert. Diese Druckwandler zeichnen sich durch geringe Temperaturabhängigkeit und große Druckempfindlichkeit aus.

Die Güte eines Druckmeßsystems hängt von seinen statischen und dynamischen Eigenschaften ab. Um Resonanzerscheinungen möglichst zu vermeiden, sollte die Eigenfrequenz der als linearer Schwinger betrachteten Flüssigkeitssäule möglichst hoch liegen. Aus diesem Grund ist der Katheterinnenradius möglichst groß, die Transducerkompliance klein und der Katheter selbst so kurz wie möglich zu halten.

Ferner ist folgendes zu beachten: Da Luftblasen die Flüssigkeitssäule zu mindest teilweise unterbrechen, wodurch die Eigenfrequenz erniedrigt wird, muß auf eine sorgfältige Entlüftung des Übertragungssystems geachtet werden. Allein hierzu ist eine Dauerspülung mit einem automatischen Spülsystem z.B. mit Intraflow^{R} oder einer Druckreduziereinheit notwendig.

Der Druckrezeptor muß auf gleicher Höhe wie die Katheterspitze schwingungsfrei eingestellt werden, da sonst der hydrostatische Druckunterschied das Meßergebnis in der Druckhöhe verschiebt.

Über die Flüssigkeitssäule und das Blut besteht eine elektrisch leitende Verbindung vom Druckwandler zum Herzen. Unter allen Umständen dürfen deshalb nur vollständig isolierte Druckwandler, Dreiweghähne und Verbindungsschläuche verwendet werden, da sonst unbeabsichtigte, unübersehbare Rückwirkungen auf die Reizleitungsvorgänge im Herzen auftreten können.

3.3. Druckmeßverstärker mit Anzeigegerät

Der Transducer wird an einen Trägerfrequenzverstärker angeschlossen, da diese eine bessere Nullpunktkonstanz als Gleichspannungsverstärker haben. Die verstärkten Signale erscheinen dann auf dem Monitor als Druckkurven bzw. als Zahlenwerte. Gleichzeitig kann mit einem Kompaktgerät die EKG-Kurve und die zahlenmäßigen Druckwerte aufgezeigt werden. Es sollte grundsätzlich, insbesondere aber bei Langzeitüberwachung des PAP ein Oszilloskop an Stelle eines Schreibers zur kontinuierlichen Druckkurvenregistrierung verwandt werden, um jederzeit ein "tip-weding" durch Katheterdislokation sofort erkennen zu können.

3.4. Schreiber

Der Thermistor wird an einen Schreiber angeschlossen, der, nach der Injektion kalter Kochsalzlösung, die vom

Thermistor gemessene Temperaturveränderung aufzeichnet und den von einem Rechner ermittelten Absolutwert des HZV angibt.

4. HANDHABUNG (1,6,7,8,11,19,21,22,23,31)

4.1. Vorbereitungen

Bevor der Katheter implantiert wird, muß der Ballon durch Aufblasen unter sterilem Wasser auf seine Dichtheit und koncentrische Ausdehnung geprüft werden. Der Ballon sollte grundsätzlich mit Kohlendioxid als Füllgas belüftet werden, da es im Falle einer Ballonruptur schnell resorbiert wird (20 mal schneller als Luft). CO_2 besitzt aber die ungünstige Eigenschaft, durch den Latexballon zu diffundieren (ca. 0,5 ccm/min bei 0,8-1,0 ccm Füllvolumen!).

Wenn nun bei der Implantation die Pulmonalarterie nach mehreren Versuchen in wenigen Minuten nicht aufgefunden werden kann (Druckkurve auf dem Monitor!), sollte der Ballon gänzlich entlastet werden. In diesem Fall kann die nunmehr "freie" Katheterspitze direkten Kontakt mit dem Endokard des rechten Ventrikels bekommen, was gewöhnlich zur Auslösung von VES's führt. Nach neuerlichem Auffüllen mit CO_2 kann der Insertionsversuch aber fortgeführt werden.

Wenn man den Ballon mit Luft füllt, muß man sich darüber im klaren sein, daß ein evtl. Platzen des Ballons theoretisch eine Luftembolie zur Folge haben kann. Aus diesem Grund sollte Luft niemals für die Expansion des Ballons verwendet werden, wenn der Katheter in den

arteriellen Kreislauf gelangen könnte. (Verdacht auf intrakardialen Rechts-links Shunt oder arteriovenöse Fistel im Lungenkreislauf!). In diesem Fall darf nur CO_2 wegen dessen 20-fach größeren Löslichkeit im Serum verwendet werden.

Nie sollte der Ballon mit Flüssigkeit gefüllt werden! Zum Einen ist eine ausreichende Entlastung des Ballons auf Grund der hohen Viskosität im Vergleich zu den Gasen nicht möglich. Zum Anderen besteht wegen der Inkompressibilität von Flüssigkeiten erhöhtes Risiko der Gefäßperforation. Last not least, verliert ein flüssigkeits gefüllter Ballon ein Gutteil seiner Einschwemmfähigkeit, bedingt durch das erhöhte Gewicht.

Als Füllspritze ist stets die kleinste, mit der gerade das notwendige Füllvolumen injiziert werden kann zu wählen (geringeres Risiko der Ballonruptur!). Die Spritze sollte immer fest mit dem Ballonlumen verbunden bleiben, um eine Verwechslung mit dem proximalen Lumen und damit ein versehentliches Einspritzen von Flüssigkeit in den Ballon zu vermeiden.

Das Füllen des Ballons ist in der Regel mit einem geringen Widerstand verbunden. Gibt man den Stempel frei, so soll sich dieser zurückbewegen. Ist beim Aufblasen des Ballons kein Widerstand zu verspüren, muß man eine Ruptur vermuten. Läßt sich in situ über die Luftspritze Blut aspirieren, ist der Verdacht bestätigt. Das Ballonlumen sollte in diesem Fall mit z.B. Heftpflaster ver-

schlossen werden, um ein vergebliches Versuchen zu vermeiden. Kleine Mengen Luft im Lungenkreislauf sind aber harmlos, sofern keine Shunts vorliegen (22).

Die anderen Katheterlumina werden mit steriler, heparinisierter Kochsalzlösung durchspült. Um eine Verletzung des Ballons zu vermeiden, ist mit der Spitze äußerst vorsichtig umzugehen. Hochsteriles Vorgehen sollte selbstverständlich sein, da im anderen Fall das Auftreten thrombophlebitischer oder gar septischer Komplikationen praktisch vorprogrammiert ist.

Auf dem sterilen Bestecktisch haben nur die notwendigen "Utensilien" Platz: SWAN - GANZ Katheter, SELDINGER-Besteck, Einmalskalpell, Nadelhalter mit Nadel und Faden für eine Hautnaht und Tupfer. Der Patient muß an ein EKG angeschlossen sein, da, wenn auch selten, Rhythmusstörungen jederzeit auftreten können. Aus diesem Grund sollte auch ein Defibrillator zur Verfügung stehen (31).

Mögliche Zugangsvenen sind am rechten und linken Arm die V. cephalica, V. basilica, V. brachialis und die V. mediana cubiti. Die V. cephalica ist, auch wenn sie meistens größer ist als die V. med. cubiti, nicht so sehr als Injektionsstelle zu empfehlen, da sie oft im Schulterbereich verengt und dadurch der Katheter steckenbleiben kann (7). Die Cubitalregion ist die übliche Implantationsstelle; wird vom linken Arm aus der Katheter vorgeschoben, kann eine nicht seltene linke Vena cava sup. für weitere Überraschungen sorgen.

Ist sie vorhanden, ist es gewöhnlich nicht möglich vom linken Arm aus adäquat zu katheterisieren, da der Katheter hinter dem Herzen, durch den Koranarsinus, in den tieferen Teil des rechten Vorhofs gelenkt wird und oft von hier in die Leber hinab wandert (8).

In Fällen, in denen der Zugang zur Pulmonalis von der Cubitalregion aus nicht oder nur schlecht möglich ist, ist die V. subclavia der V. jugularis externa bzw. interna als Implantationsstelle vorzuziehen (25).

Nach steriler Abdeckung des Umfeldes ist die vorgesehene Punktionsstelle sorgfältig mit Jodtinktur zu desinfizieren. Das Implantieren des Katheters geschieht bei ansprechbaren Patienten fast immer unter Lokalanaesthesie z.B. mit 5-10 ml ein- bis zweiprozentiger Procainlösung.

4.2. Technik des Katheterlegens

Für den SWAN - GANZ Katheter empfiehlt sich die SELDINGER-Technik, da hier ein unbeabsichtigtes Abscheren des Katheters unmöglich ist und der Ballon maximal geschützt bleibt. Mit der SELDINGER-Nadel mit aufgesetzter Spritze wird unter einem Winkel von höchstens 45^{o} die Vene punktiert. Liegt die Nadelspitze gut im Gefäßlumen, so läßt sich leicht Blut aspirieren (Fig. 4.1.).

Nach Absetzen der Spritze wird durch das Nadellumen ein

flexibler Führungsdraht in die Vene vorgeschoben (Fig. 4.2.), sodann wird die Nadel zurückgezogen (Fig. 4.3.).

Mit dem Einmalskalpell wird nun an der Punktionsstelle ein kleiner Hautschnitt gelegt, um ein leichteres Einführen des Führungsdrains zu ermöglichen. Über den Führungsdraht (Mandrin) wird ein Kunststofftubus (Drain; 8F) mit einer Drehbewegung geschoben (Fig. 4.4.), der Mandrin zurück gezogen (Fig. 4.5.) und der Katheter durch den Drain in das Gefäß eingeführt (Fig. 4.6.) (11).

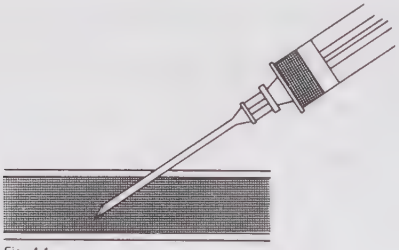

Fig. 4.1.

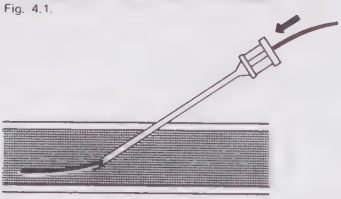

Fig. 4.2.

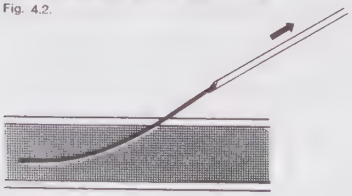

Fig. 4.3

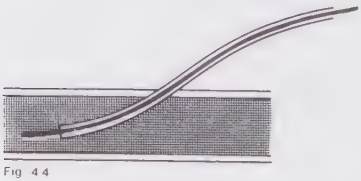

Fig. 4.4

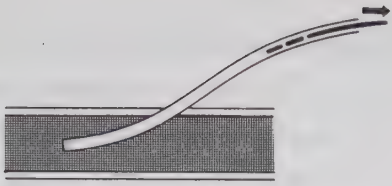

Fig. 4.5.

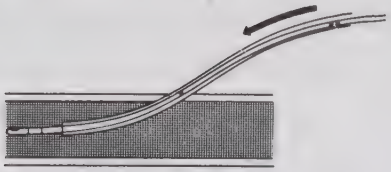

Fig. 4.6.

Eine Assistenz schließt den Druckaufnehmer an das distale Lumen, sodann wird der Katheter langsam - nie mit Gewalt - vorgeschoben. Erscheint auf dem Monitor die typische Druckkurve des ZVD, (Fig. 4.7.), so liegt die Katheterspitze am Übergang Vena cava - rechter Vorhof bzw. im rechten Vorhof selber.

Der Ballon wird nun mit 0,8 ml Kohlendioxid aufgeblasen und der Katheter vorsichtig weiter geschoben, bis die charakteristische Kurve des rechten Ventrikels erscheint (Fig. 4.8.). Unter kontinuierlicher Kontrolle von Druckkurve und EKG wird der Katheter weiter eingeführt.

Wenn nach Vorschieben des Katheters um ca. 15 cm (1) mit aufgeblasenem Ballon das Auffinden der A. pulmonalis nicht gelingt, so ist der Katheter in den rechten Vorhof zurückzuziehen (Druckkurve!) und ein neuer Versuch zu starten. Die durchschnittliche Passagezeit vom rechten Atrium in die A. pulmonalis beträgt in der Regel weniger als 35 Sekunden (Fig. 4.9.)(1).

Wenige Sekunden nach dem Aufzeichnen der Pulmonaliskurve gelangt der Katheter in eine "wedge-position", d.h. der Ballon verkeilt sich in einem Arterienast, was an der typischen Kurve zu erkennen ist (Fig. 4.10.).

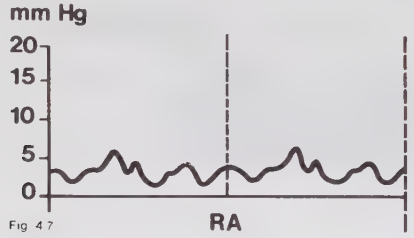

Fig 4.7

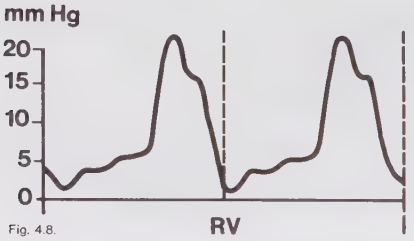

Fig. 4.8.

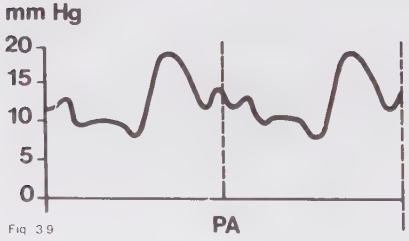

Fig 3.9

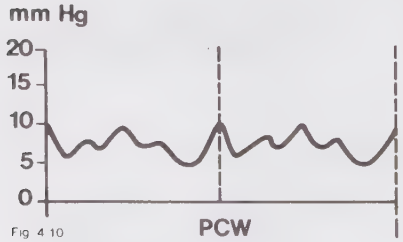

Fig 4.10

Nach BENUMOF (32) kann mit ca. 6% Fehllagen gerechnet werden. Er empfiehlt - vorallem bei längerer Überwachung des PAP und des PCWP - eine röntgenologische Lagekontrolle, da der Katheter durch die rhythmischen Herzkontraktionen, die Propulsivkraft des Blutstromes und einer eventuellen Beatmung mit PEEP in einen kleineren, peripheren Pulmonalarterienast vorwandern kann. Neben der Tatsache, daß falsche Meßergebnisse geliefert werden, besteht zugleich noch die Gefahr der Lungeninfarzierung (2,4,31,32). So sollte der Katheter bei Implantation in die V. subclavia nicht mehr als 40 cm (Markierungen beachten!), in die V. jugularis interna dextra nicht mehr als 50 cm, in die V. mediana cubiti dextra nicht mehr als 70 cm und in die V. med. cubiti sinistra nicht mehr als 80 cm vorgeschoben werden.

Gelingt es nicht die wedge-position aufzufinden, so kann der enddiastolische Pulmonalarteriendruck (EDPAP) als Parameter für den wedge-pressure (PCWP) herangezogen werden, sofern ein normaler pulmonal-vaskulärer Widerstand (PVR) vorliegt.

Hat man nun den Katheter beim Implantieren bis in die wedge-position vorgeschoben, so ist der entsprechende Druck abzulesen und der Ballon unverzüglich, vollständig zu entlasten.

4.3. Versorgung und Pflege des implantierten Katheters

Der Katheter kann nun gelegentlich zurückrutschen, sogar in den rechten Ventrikel und hier Arrhythmien auslösen, da ja der Ballon nicht mehr gebläht ist. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, nach Entlastung des Ballons den Katheter um weitere 1-2 cm vorzuschieben (1). Hierbei ist allerdings darauf zu achten, daß nicht schon die Katheterspitze allein in wedge-position gelangt, was an einer abgeflachten PAP-Kurve bzw. an der PCWP-Kurve auf dem Bildschirm zu erkennen wäre (Gefahr der Lungeninfarzierung!).

Wird der Ballon gerade bis zum Erscheinen der PCWP-Kurve gebläht, sollte das hierfür notwendige Füllvolumen nicht wesentlich unter dem auf der Verpackung angegebenen Gebrauchsvolumen des Ballons liegen. Ist es der Fall, muß der Katheter soweit zurückgezogen werden, bis ein "wedging" erst mit dem geforderten Sollvolumen gelingt (siehe auch: "Komplikationen" Nr. 1 und 7).

Der Ballon ist stets langsam aufzublasen. Einmal um den Übergang der PAP-Kurve in die PCWP-Kurve subtil erfassen zu können, zum Anderen um eine gefährliche Gefäßüberdehnung bei peripherer Katheterdislokation - insbesondere bei pulmonaler Hypertension - zu vermeiden. Stellt sich die PCWP-Kurve auf dem Monitor ein, wird der Ballon nicht weiter gebläht.

Der Ballon ist außerdem stets nur so lange aufzublasen, wie es zur Registrierung des PCWP erforderlich ist, d.h. nur wenige Sekunden, da die Gefahr des Lungeninfarkts außerordentlich groß ist. GEORGE A. FOOTE berichtet über 7,2% ischämische Läsionen als direkte Folge der SWAN - GANZ Katheterisierung (4).

Der Katheter ist nun mit einer Hautnaht zu fixieren, um ein Weiterwandern der Katheterspitze so weit wie möglich zu unterbinden. Die Insertionsstelle des Katheters wird mit einer bakteriziden Salbe bzw. mit einem Desinfektionsspray behandelt und alle 48 Stunden gesäubert und neu versorgt. Ein luftdichter Verband ist empfehlenswert. Sämtliche intravenösen Zuleitungen und druckresistenten Schläuche sollten alle 48 Stunden ausgetauscht werden (22).

Intensivpatienten, die auch häufig hypoxisch sind, scheinen infolge ihrer erhöhten, ventrikulären Reizbarkeit für Arrhythmien besonders empfänglich zu sein. So muß nicht nur während der Implantation des Katheters, sondern auch während der gesamten Liegedauer und beim Entfernen des Katheters das EKG kontinuierlich überwacht werden.

Nach bisherigen Erfahrungen sollte der Katheter nicht länger als drei Tage in situ belassen werden, auch wenn über Liegezeiten von bis zu 12 Tagen ohne Komplikationen berichtet wurde (22). Bei manifester Thrombophlebitis, Sepsis bzw. Verdacht darauf oder auf Lungenembolie

muß der Katheter unverzüglich entfernt werden (33). Eine prophylaktische Antikoagulation ist generell nicht erforderlich, sollte aber bei Patienten mit Thrombembolie-Disposition durchgeführt werden.

Beim Entfernen des Katheters sollte der Ballon mit ca. dem halben Füllvolumen gebläht werden, um eine Verletzung der Klappen und eine Irritation des Endokards durch die Katheterspitze zu vermeiden (EKG-Kontrolle) (1).

4.4. Aufbewahrung und Resterilisation des Katheters (21)

Die Katheter können bis zu einem Jahr nach Verpackung bedenkenlos verwendet werden (Verfallsdatum ist auf der Originalverpackung vermerkt). Obschon als "Einmal-Artikel" deklariert, besteht die Möglichkeit der Resterilisation und Wiederverwendung (Kostenproblem!) unter folgenden Kautelen:

a) Es ist nur Gassterilisation nach den üblichen Richtlinien und Sicherheitsvorschriften zulässig. Dabei darf eine Temperatur von 55°C nicht überschritten werden.

b) Sämtliche Katheterlumina müssen trocken sein, um eine vollständige Penetration des Gases zu garantieren. Beim Säubern des Katheters ist insbesondere darauf zu achten, daß keine Flüssigkeit in den Ballonstutzen gelangt!

c) Nach der Sterilisation sollte das Material zumindest 7 Tage gelagert werden, damit eine ausreichende Gasentlüftung gewährleistet ist.

4.5. Herzkatheterisierung in der Paediatrie (11)

Die oben beschriebene Methode ist im allgemeinen auch bei Kindern anwendbar, allerdings sollten die besonderen Verhältnisse bei Neugeborenen berücksichtigt werden. So ist mit peinlichster Sorgfalt darauf zu achten, die Körpertemperatur z.B. mit Heizkissen oder Infrarotlampen konstant zu halten. Das gleiche gilt für die Volumenbalance. Äußerst genau müssen Blut- und sonstige Flüssigkeitsverluste ausgeglichen werden, um weder eine Hypovolämie und Hypotension noch eine Hypervolämie mit Lungenödem hervorzurufen. Bei Neugeborenen kann bis zu ca. 72 Stunden nach der Geburt die Umbilicalvene zur Herzkatheterisierung benutzt werden. Natürlich müssen die Katheter einen geringeren Durchmesser haben.

5. VORZÜGE DES SWAN - GANZ KATHETERS (1,11,21,22)

Auch wenn prinzipiell die Messung des Wedge-Druckes mit jedem Katheter möglich ist, der zur routinemäßigen Katheterisierung des Herzens Verwendung findet, kann diese Methode für die routinemäßige, kontinuierliche Überwachung des linksventrikulären Füllungsdruckes wegen folgender Nachteile bzw. Vorteile des SWAN - GANZ Katheters nicht empfohlen werden:

5.1. Vom Blutstrom gelenkte Katheterspitze

Sobald der Ballon bei Erreichen der oberen Hohlvene gänzlich aufgeblasen ist, treibt und lenkt der Blutstrom den langsam vorgeschobenen Katheter in die gewünschte Richtung. SWAN und GANZ gaben in ihrer Veröffentlichung 1970 die Passagezeit vom rechten Vorhof durch das rechte Herz bis zur wedge-position mit 25 Sekunden an (1). Der Katheter wird so sicher vom Blutstrom geführt, daß im allgemeinen Röntgenkontrollen nicht erforderlich sind.

5.2. Reduzierung von Rhythmusstörungen

Vor der Einführung des SWAN - GANZ Katheters waren die Herzrhythmusstörungen die meist gefürchteten Komplikationen. Die ungeschützte Katheterspitze führte bei der

Passage durch den rechten Ventrikel oft zu Endokardirritationen, welche unter anderem Kammerflimmern zur Folge haben konnten. Durch den die Spitze umgebenden Ballon sind diese Komplikationen weitgehendst ausgeschlossen. Nichtsdestotrotz muß das EKG ständig überwacht werden, da z.B. bei Ballonruptur die Katheterspitze nicht mehr geschützt ist.

5.3. Messung des rechtsatrialen Druckes (RAP), des Pulmonalarteriendruckes (PAP), des pulmonalen Kapillarverschlußdruckes (PCWP) und der venösen Sauerstoffsättigung ($S\bar{v}O_2$)

Wird an das proximale Lumen ein Druckwandler angeschlossen, so kann, ohne daß die Katheterlage verändert werden muß, der rechtsatriale Druck, also der zentralvenöse Druck gemessen werden. Gleichzeitig kann über das distale Lumen mit angeschlossenem Transducer der Pulmonalarteriendruck bestimmt bzw. kontinuierlich überwacht werden.

Wird nun durch einfache Blähung des Ballons der Arterienast, in dem die Katheterspitze liegt, verschlossen, so wird auf dem Monitor die Wedge-Druckkurve aufgezeigt. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Herzkathetern ist eben keine Lageveränderung hierzu nötig.

Messung des PAP läßt Veränderungen des pulmonalen Gefäßwiderstandes erkennen, die als eine Folge einer Hypoxämie, eines Lungenödems, einer Lungenembolie und einer

pulmonalen Insuffizienzen auftreten können (22). Sie sind außerdem schon erkennbar, bevor im Röntgenbild die Zeichen eines manifesten Lungenödems sichtbar sind (19). Da das kapazitive Gefäßsystem nur träge und phasenverschoben auf Druckänderungen im Lungenkreislauf reagiert, kann es sogar zur pulmonalen Drucksteigerung mit Lungenödem bei normalem ZVD kommen (21).
Zur Bestimmung der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz, des Herzzeitvolumens nach der FICK-Methode sowie des intrapulmonalen Shunts ist die Gewinnung gemischtvenösen Blutes Vorraussetzung. Zu diesem Zwecke braucht nur der Transducer vom distalen Lumen getrennt werden und man kann aus der Pulmonalarterie gemischtvenöses Blut aspirieren. Wird gleichzeitig der Ballon aufgeblasen, so kann man aus den Lungenkapillaren pulmonales Venenblut d.h. zu 95-97% mit O_2 gesättigtes Blut gewinnen (11).

5.4. Bestimmung des Herzzeitvolumens (Thermo- und Dyedilution)

Mit Hilfe der vom Thermistor gemessenen Bluttemperaturveränderung auf Grund kalter, als Bolus injizierter physiologischer NaCl- oder Glukoselösung, kann mit der Thermodilutionsmethode das Herzzeitvolumen berechnet werden. Von einem Schreiber werden die Temperaturveränderungen chronologisch aufgezeichnet. Das Flächenintegral unter dieser Kurve wird von einem angeschlossenen Rechner ermittelt, der daraus das Herzminutenvolumen

ableitet und digital anzeigt.(s.a.8.2.)
Wird ein Farbstoff z.B. Indocyanin-Grün als Indikator in das proximale Lumen injeziert, so läßt sich die Zeit-Konzentrationskurve mit Kathetern, die zusätzlich mit einer Fiberglasoptik ausgerüstet sind, photometrisch ermitteln. Aus dieser Kurve ist ebenso über das Flächenintegral das Herzzeitvolumen zu errechnen.
Beide Methoden haben gegenüber der FICK'schen Methode den Vorteil der leichteren Durchführbarkeit, wobei die Thermodilutionsmethode außerdem noch die überaus günstige Eigenschaft besitzt, sofort und praktisch unbegrenzt wiederholbar zu sein, da es kaum zu Rezirkulationsmaxima kommt. Der Temperaturabfall ist sehr schnell wieder ausgeglichen.
Zudem kommen äußerst preisgünstige Lösungen (physiologische Kochsalz- bzw. Glukoselösung) zum Einsatz (s.a. 3.1. und 8.2.).

5.5. Röntgenologisch darstellbar

Bei Verdacht auf Lageanomalien wie z.B. Schlingen- und Knotenbildung oder auf andere Komplikationen wie z.B. Perforation des Septums, ist es außerordentlich wichtig, daß der Katheter sich röntgenologisch darstellen läßt. Aus der erkannten Lage lassen sich dann die nötigen Schritte zur Beseitigung der Komplikationen ableiten.

5.6. Leichte Handhabung

Wie in den Punkten 1 - 3 schon teilweise angedeutet, ist die Katheterisierung der Pulmonalarterie mit Hilfe des SWAN - GANZ Katheters erheblich vereinfacht worden. Das Implantieren eines Katheters ohne Ballon verlangt ein hohes Maß an Erfahrung und Geschicklichkeit, da der Katheter durch das rechte Herz regelrecht hindurchmanövriert werden muß, und dies unter der hohen Gefahr von Rhythmusstörungen. Mit dem SWAN - GANZ Katheter ist nun eine kontinuierliche, sichere, zuverlässige und leicht zu bedienende Überwachungsmöglichkeit ohne zusätzliche Risiken sogar für extrem gefährdete Intensivpatienten gegeben.

6. INDIKATIONEN (8,10,11,19,20,21,22,23)

6.1. Diagnostik klinisch unklarer cardio-pulmonaler Situationen

So wie bei jeder diagnostischen Untersuchung muß die Entscheidung pro oder contra auf einer sorgfältigen Abwägung zwischen dem Risiko der Untersuchung und dem Wert an erhaltenen Informationen basieren. Herzkatheterisierung ist allgemein indiziert, wenn eine Notwendigkeit besteht, die Anwesenheit klinisch suspekter Verhältnisse zu klären bzw. zu erhärten, ihre anatomische und physiologische Schweregrade zu definieren und das Fehlen oder Vorhandensein assoziierter Gegebenheiten festzustellen. Diese Notwendigkeit entsteht gewöhnlich, wenn das klinische Bild eine Besserung oder eine Heilung des Patienten durch eine Herzoperation erwarten läßt.

Es bestehen Meinungsverschiedenheiten darüber, ob alle Patienten, die sich einer Herzoperation unterziehen werden, praeoperativ einen Herzkatheter bekommen sollen. Es muß festgestellt werden, daß das Risiko einer Herzkatheterisierung gering ist verglichen mit dem bei Herzoperationen an Patienten, bei denen 1. eine inkorrekte Diagnose gestellt wurde, 2. das Auftreten unerwarteter zusätzlicher Gegebenheiten den geplanten Operationsablauf verlängern und komplizieren kann oder 3. die haemodynamische Verfassung mit klinischen Mitteln inakurat bewertet wurde.

Um das Operationsteam vor Überraschungen zu bewahren und ihm eine genaue und umfangreiche "road-map" an die Hand zu geben, damit eine maximal effiziente Operation resultiert, empfiehlt BARRY und GROSSMAN (11) bei fast allen erwachsenen Patienten, an denen eine kardiale Operation vorgenommen werden soll, einen Herzkatheter zu legen. Hierzu empfiehlt sich natürlich der SWAN - GANZ Katheter, da hier nur äußerst wenig über fatale Komplikationen berichtet wurde (5,24).

Unklare kardiopulmonale Situationen liegen z.B. vor bei Schocklunge, Thoraxtraumen, Myokardkontusionen, Brustschmerz unbestimmter Äthiologie und vermuteter Kardiomyopathie. So läßt sich eine pulmonale Hypertonie bei Verdacht auf Cor pulmonale oder bei linksventrikulärer Funktionseinschränkung nachweisen oder ausschliessen. Letztere läßt sich wieder in verschiedene Stadien einteilen:
Präinsuffizienz, Belastungsinsuffizienz, manifeste Herzinsuffizienz (21).

Der haemodynamische Parameter mit dem größten Informationsgehalt bezüglich Herzleistung ist der linksventrikuläre Füllungsdruck, welcher in der Regel mit ausreichender Genauigkeit indirekt als PCWP gemessen werden kann (s.a. 3.1. und 6.3.). Die Kontrolle des zentralvenösen Druckes ist nicht nur weniger ergiebig, sondern kann zu Mißverständnissen führen, wenn die Leistung des linken Ventrikels beurteilt werden soll. Der zentralvenöse Druck entspricht dem Füllungsdruck des rechten

Ventrikels, und obwohl bei normaler Ventrikelfunktion eine enge Beziehung zwischen rechts- und linksventrikulärem Füllungsdruck besteht - das rechte und linke Herz arbeiten wie eine in Serie geschaltete Pumpe - kann eine enorme Diskrepanz zwischen zentralvenösem Druck und linksventrikulärem Füllungsdruck auftreten, wenn ein Ventrikel allein oder der eine mehr als der andere in seiner Funktion beeinträchtigt ist. Bei Patienten mit z.B. akutem Myokardinfarkt ist in der Regel der linke Ventrikel betroffen. Deshalb muß der Kontrolle des linksventrikulären Füllungsdruckes gegenüber jener des zentralvenösen Druckes der Vorzug gegeben werden. Dies ist am einfachsten und komplikationslosesten mit dem SWAN - GANZ Katheter möglich, da hier mit Hilfe des PCWP indirekt der linke Vorhofdruck gemessen wird, der gegen Ende der Diastole dem linksventrikulären Füllungsdruck entspricht. Vorraussetzung ist, daß keine Mitralklappenveränderungen und Lungengefäßveränderungen bestehen (22).

6.2. Cardio-pulmonale Überwachung Schwerstkranker

Bei Intensivpatienten wie Polytraumatisierte, cardiochirurgische Patienten, Patienten mit septischen und toxischen Krankheitsbildern, mit Verbrennungen und Intoxikationen und postoperative Problempatienten gehört die SWAN - GANZ Katheterisierung zum Routineprogramm. Die Überwachung des PCWP und des PAP, die Messung des

Herzzeitvolumens und die Bestimmung des alveoloarteriellen Sauerstoffgradienten lassen präzise Aussagen über den Allgemeinzustand des Patienten zu. Durch die kontinuierliche Überwachung oben genannter Parameter sind zusätzlich auftretende Komplikationen sofort zu erkennen, wodurch augenblickliches Handeln ermöglicht wird. So z.B. die Früherkennung und quantitative Beurteilung einer akuten Herzinsuffizienz bzw. eines kardiogenen Schockes, die Diagnose weiterer Komplikationen wie Septumperforation und Papillarmuskelabriß (19,21).

Allgemein stellt sich also die Indikation für die Überwachung mit dem Pulmonaliskatheter bei komplexen Krankheitsbildern, bei denen die haemodynamische Situation schwer überschaubar ist, besonders bei septischen Krankheitsbildern, bei ernsten Kreislaufproblemen unter apparativer Beatmung sowie beim Lungenödem unklarer Ursache. Ferner ist die Indikation bei postoperativen Patienten gegeben, bei denen die Gefahr großer, intravaskulärer Volumenfluktuationen besteht (23).

Zur Bestimmung des alveoloarteriellen Sauerstoffgradienten ($A\text{-}aD_{O_2}$), einer der empfindlichsten Gradmesser einer frühen respiratorischen Insuffizienz, ist die Gewinnung gemischtvenösen Blutes aus der Pulmonalarterie erforderlich, ebenso zur Bestimmung des Rechts-links Shunts (Q_s/Q_T) und des Herzzeitvolumens nach der FICK-Methode. Diese Untersuchungen sind notwendig, um ein Bild über eine ent- bzw. bestehenden pulmonalen Insuffizienz zu erhalten.

6.3. Therapiesteuerung und -überwachung kritischer haemodynamischer und pulmonaler Zustandsbilder

Eine dritte wichtige Indikationsgruppe ist gegeben durch die Notwendigkeit, die Reaktion des Patienten auf eine spezifische pharmakologische Therapie zu erkennen und zu überwachen, um nötigenfalls die therapeutischen Maßnahmen sofort ändern zu können (11).

Da etwa 60% der Myokardinfarkte normal ohne Komplikationen verlaufen (23), hier also eine Pulmonaliskatheterisierung nicht nötig ist, stellt sich beim Myokardinfarkt die Indikation zur SWAN - GANZ Katheteruntersuchung, wenn

a) Anamnese, Status, Auskultationsbefund des Herzens und der Lunge, Röntgen-Thorax einschließlich ZVD, EKG, Blutdruck und Herzfrequenz kein eindeutiges Bild für die einzuschlagende Therapie ergeben.

b) die Therapie nicht den gewünschten Erfolg zeigt.

c) eine Therapie einer schweren Herzinsuffizienz mit Kathecholaminen und/oder Vasodilatoren notwendig wird.

d) agressive Behandlungsprogramme beispielsweise die kombinierte Anwendung von intraaortaler Ballonpulsation und akuter Kardiochirurgie eingesetzt werden.

Generell ist eine Katheterisierung indiziert bei Verlaufskontrollen bei Herzkrankheiten, zur quantitativen Beurteilung von therapeutischen Maßnahmen wie zum Beispiel die vergleichende Kontrolluntersuchung zur Beurteilung des Operationsergebnisses (21).

So auch beim protrahierten Schock, einem Schockzustand also, der sich durch Basistherapie mit Volumensubstitution und Katecholaminen unter Kontrolle von ZVD, Blutdruck, Herzfrequenz, Diurese und klinischem Bild nicht rasch beheben läßt.

Pharmakologische Intervention mit hohen Dosen von Propranolol bei Verdacht auf idiopathische hyperthrophe subaortale Stenose (IHSS) oder mit Antikoagulantien bei akuter Lungenembolie sollte ebenfalls eine Indikation darstellen (11).

7. KOMPLIKATIONEN (1,2,3,4,5,9,11,14,15,16,17,18,20,21,22,24,31)

7.1. Hauptkomplikationen und deren statistische Häufigkeit

Es gibt eine umfangreiche Literatur, die in regelrechten Auflistungen mögliche Komplikationen beschreibt. Die Hauptkomplikationen sind in der kooperativen Studie von BRAUNWALD und SWAN 1968 herrausgearbeitet worden (14).

Von 12 367 Untersuchungen vor Einführung des SWAN - GANZ Katheters an 16 verschiedenen Laboratorien ereigneten sich 444 (= 3,6%) Hauptkomplikationen. Unter "Hauptkomplikationen" wurde zusammengefaßt:

- Tod
- schwerwiegende Arrhythmien
- starke Hypertension
- Komplikationen, das arterielle System betreffend
- versehentliche Perforation des Herzens
- Katheterprobleme
- ernste Infektionen
- ernste allergische Reaktionen
- Embolie
- kardiale Komplikationen
- schwerwiegende Blutungen
- Pneumothorax mit erforderlicher Beatmung

Die Komplikationsrate lag mit 9% bei Kindern jünger als

ein Jahr deutlich höher als bei den Erwachsenen. Tödliche Komplikationen traten in 55 (= 0,44%) Fällen auf und dies gehäuft bei Kindern. Ursachen hierfür waren u.a. Herztamponade in Verbindung mit transseptaler Katheterisation, Myokardinfarkt, Perforation der Aorta, vagale Reaktionen, Hypotension auf Grund von Blutverlust und Kammerflimmern.

SWAN und GANZ berichten in ihrem Report über die 100 ersten Untersuchungen mit dem "Flow-Directed Balloon-Tipped Catheter", daß das Auftreten von Extrasystolen minimal sei und daß sonst keine anderen Arrhythmien aufgetreten seien. In zehn Fällen sei die Integrität des Ballons gestört gewesen und bei zwei Patienten sei es aufgrund des Katheters zur Thrombose gekommen (1).

Übereinstimmend wird in der Literatur über geringe Komplikationen bei Verwendung des SWAN - GANZ Katheters berichtet (2-5,21,22,24,31).

Bei 6438 Einschwemmkatheteruntersuchungen an 64 Meßplätzen in Deutschland traten folgende Komplikationen auf (24):

	n	%	Normal-pers.	akut. Infarkt	Ang. pectoris	andere Indik.
	6438	100,00	800	286	602	4750
Komplikationen:						
Kammerflimmern	20	0,31	2	8	1	9
a) spont. Rhythmisierung	7	0,11	0	1	0	6
b) Defibrillation	12	0,19	2	6	1	3
c) mit Exitus	1	0,02	0	1	0	0
Kammertachykardie über mindestens 30 sec.	16	0,25	1	1	1	13
Vorhofflimmern	11	0,17	1	0	3	7
Thrombophlebitis	77	1,20				
Abschneiden des Katheters	10	0,16				
Knotenbildung	28	0,43				
Bakterielle Sepsis	3	0,05				
GESAMT	165	2,56				

Am Rehabilitätszentrum Bad Krozingen war die Anzahl der Komplikationen, die bei 5300 nur mit dem SWAN - GANZ Katheter bis zum 9.2.1976 durchgeführten Rechtsherzkatheterungen auftraten, noch deutlich niedriger (24):

	n	%
Komplikationen:		
Todesfälle	0	0,000
Kammerflimmern	1	0,019
Kammertachykardie über mindestens 30 sec.	4	0,075
Vorhofflimmern	6	0,113
Sinusbradykardie bzw. Sinusarrest	3	0,057
Abschneiden des Katheters	0	0,000
Knotenbildung	0	0,000
Bakteriämie	0	0,000

Von größerem Nutzen für den Leser ist selbstverständlich die Analyse der einzelnen Komplikationen, weil sich daraus, jedenfalls für einen kleinen Teil, Konsequenzen für die technische Durchführung der Herzkatheterung sowie für die Beobachtung und Handhabung des Patienten ergeben.

7.2. Komplikationen beim Legen des Katheters

1) Punktion eines arteriellen Gefäßes

Dieses Risiko ist zum Beispiel bei der Punktion der V. brachialis oder der V. subclavia gegeben. Werden diese Venen zur Implantation des Katheters gewählt, ist unbedingt Klarheit über die individuellen, anatomischen Verhältnisse durch u.a. Ertasten der Pulsation zu erlangen.

2) Pneumothorax

Bei der Subclaviapunktion ist der Pneumothorax eine typische Komplikation, wobei der supraclaviculäre Zugang risikoreicher ist als der infraclaviculäre. Durch genaues Beachten der anatomischen Bezugspunkte sind diese Risiken zu vermeiden.

3) Verknoten, Schlingenbildung, Abknicken des Katheters

Der Verdacht auf eine dieser drei Komplikationsmöglichkeiten sollte immer dann auftauchen, wenn nach mehr als 10-15 cm Kathetervorschub vom rechten Vorhof zur rechten Kammer keine charakteristische Ventrikeldruckkurve zur Darstellung kommt. Das gleiche gilt sinngemäß für den rechten Ventrikel und die A. pulmonalis. Abknicken des Katheters führt in der Regel zu einer Abflachung der Druckkurve.

Beseitigung von Schlingenbildung und Abknicken des Katheters:

Zurückzug bis in den rechten Vorhof, dann erneutes

langsames Vorschieben. Treten während der Messung des RAP ventrikuläre Extrasystolen auf, so liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Schleife im rechten Ventrikel, während sich die Spitze im rechten Vorhof befindet. Der Katheter ist dann behutsam weiter zurückzuziehen (3).

Wird eine Verknotung vermutet, muß der Katheter vorsichtig zurückgezogen werden, was im Regelfall auch gelingt. Unter Röntgen-Durchleuchtung sollte die jeweilige Knotenlokalisation innerhalb des Gefäßsystems ausgemacht und beim Rückzugmanöver verfolgt werden (dabei nie Gewalt anwenden!). Zur Entfernung des geknoteten Katheters ist meist eine Venaesektio erforderlich.

4) Dislokation bei Vitien

Bei Shuntvitien kann der Katheter in das linke Herz wandern, was aber durch die fortlaufende Druckregistrierung sofort erkannt werden kann.

5) Extrasystolen, Arrhythmien

Schwere Arrhythmien dürften bei der Verwendung von Ballonkathetern sehr selten sein, da keine endokardiale Stimmulation auftritt, wie sie bei unbedeckter Katheterspitze möglich ist. Sie sind dennoch beschrieben worden und zwar hauptsächlich bei akuten Myokardinfarkten.

Da Rhythmusstörungen nicht völlig ausgeschlossen wer-

den können, muß unbedingt während der gesamten Untersuchung bzw. Überwachung das EKG kontinuierlich überwacht werden. Ebenso muß eine spezielle Notfallausrüstung vorhanden sein.

7.3. Komplikationen beim liegenden Katheter

1) Lungeninfarkt

Durch zu langes Belassen des Ballons im geblähten Zustand bzw. durch unbemerktes Vorwärtswandern des Katheters kommt es durch Verschluß der Pulmonalarterie zum Lungeninfarkt. Zwar können beim Gesunden die Bronchialarterien gewissen Ausgleich schaffen, doch da es sich in aller Regel um Intensivpatienten handelt, sind die Bronchialarterien zu insuffizient, um den Infarkt zu verhindern. Aus diesem Grund ist der Ballon nur für den, für die Registrierung des Wedge-Druckes notwendigen Zeitraum aufzublasen und danach sofort vollständig (!) zu entlasten. Aus dem gleichen Grund muß der Katheter am besten mit einer Hautnaht fixiert werden.

Eine Röntgenkontrolle innerhalb der ersten 24 h zeigt, ob sich die Schleife im rechten Ventrikel gestreckt hat und die Spitze damit weiter peripher liegt. Eine abgeflachte PAP-Kurve gibt den ersten Hinweis (4).

2) Thrombose, Lungenembolie

Bei Schockpatienten oder solchen mit verstärkter Gerinnungstendenz - falls eine längere Überwachung vorgesehen ist - , empfielt sich eine Antikoagulationstherapie mit Heparin, um thromboembolischen Komplikationen vorzubeugen, so z.B. Thrombenabscheidung an der Katheterwand (1,35).

3) Thrombosierung des Katheters

Wenn der Katheter durch Blutgerinnsel verstopft ist, sollte er normalerweise gezogen werden. Bei regelmäßiger Spülung des Katheters mit heparinisierter Kochsalz- oder Glukoselösung (5000 Einheiten/500 ml) kann die Thrombosierung des Katheters normalerweise vermieden werden.

Sofern es nicht absolut notwendig ist, gemischt venöses Blut zu erhalten, sollte der Katheter nicht zur Blutentnahme verwendet werden (Spülung!).

Es besteht die Gefahr, daß sich im Katheter selbst Thromben bilden, abgeschwemmt werden und dann zu einer Embolie führen (4).

4) Thrombophlebitis, Sepsis

Durch einmaliges Verwenden des Katheters und durch Vermeidung wiederholter Manipulationen am Katheter sowie dadurch, daß nicht dieselbe Vene für mehrere Katheterimplantationen verwendet wird, lassen sich diese Komplikationen größtenteils vermeiden. Hoch-

steriles Arbeiten bei der Implantation sollte selbstverständlich sein. Außerdem sollte eine Liegezeit von 72 h nach Möglichkeit nicht überschritten werden.

5) Ballonruptur

Wird derselbe Katheter mehrmals verwendet, was schon aus Sterilitätsgründen abzulehnen ist, kommt es nicht selten zu einer Ruptur des Ballons. Sie kann dadurch festgestellt werden, daß beim Aufblasen bzw. Entlüften des Ballons kein Widerstand mehr verspürt wird und zuweilen auch Blut aus seinem Lumen dringt. Der Katheter verliert durch den geplatzten Ballon seine Schwimmeigenschaften, was gerade bei der Implantation von erheblichem Nachteil ist (Gefahr der Rhythmusstörung).

Zwar kann der Wedge-Druck nicht mehr gemessen werden (es sei denn, man schiebt den Katheter weiter peripher), jedoch der Pulmonalarteriendruck, wobei der enddiastolische Pulmonalarteriendruck (EDPAP) ein gutes Maß für den linksventrikulären Füllungsdruck noch darstellt.

6) Luftembolie

Bei Verdacht auf intrakardiale bzw. pulmonale Shunts darf der Ballon nur mit CO_2 gefüllt werden, da es 20 mal stärker resorbiert wird. Liegen solche Shunts nicht vor, ist die Injektion kleiner Mengen Luft in den zentralen Kreislauf harmlos. Das Ballonlumen soll-

te allerdings mit Heftpflaster verschlossen werden, damit nicht versehentlich unnötige Luft oder sogar Flüssigkeiten injiziert werden.

7) Perforation der A. pulmonalis (2,31)

Aufgrund der ventrikulären Kontraktion und der Schleife, die der Katheter im rechten Ventrikel bildet, kann die in situ befindliche Katheterspitze peripher in eine kleinere Pulmonalarterie vorgetrieben werden. Die Arterie kann auf zwei Arten perforiert werden:

a) Die Katheterspitze kann, wenn sie nicht vom Ballon umgeben ist, die Arterienwand durchstoßen.
b) Durch einen zu stark aufgeblasenen Ballon, vor allem bei pulmonaler Hypertension, kann die Arterie platzen.

Darum ist durch gute Fixierung des Katheters an der Einführungsstelle die Verschiebungsmöglichkeit auf ein Minimum zu reduzieren. Durch Röntgenaufnahmen kann die Katheterlage, insbesondere die Schleife im rechten Ventrikel kontrolliert werden.

Der Ballon ist nur gerade soweit aufzublasen, daß man die erwartete Wellenform erhält. Ist hierzu ein weit geringeres Volumen als das angegebene Füllungsvolumen notwendig, so ist der Katheter sicherlich weiter vorgewandert (4).

Die Symptome der Pulmonalarterienruptur sind unter anderem Bluthusten, Schmerzen und Atemnot.

Ein Verdacht auf Gefäßruptur läßt sich im allgemeinen anhand einer Röntgenaufnahme bestätigen. Sie kann unter anderem dadurch verhindert werden, wenn man sich strikt an die von SWAN und GANZ beschriebene Technik hält (2).

8) Artefakte

Die Kontraktionen des rechten Ventrikels verursachen Katheterbewegungen, die die Flüssigkeitsbewegung im Kathetersystem so verändern, daß sich den Druckwellen zusätzliche kleine Wellen als Artefakte überlagern. Diese künstlichen, zusätzlichen Wellen können eine Amplitudenhöhe bis zu $\pm$ 10 mm Hg erreichen und damit Verwirrung bei der Interpretation der Meßdaten verursachen. In solchen Situationen wird folgendes empfohlen:

a) Man verwende den mittleren Pulmonalarteriendruck
b) Um die Bestimmung des systolischen und diastolischen Druckes zu erleichtern sind die Druckwellen nach erfolgter Eichung über längere Zeit hinweg aufzuzeichnen (31).

Artefakte können auch durch Respirationseinflüsse, ungenaue Höheneinstellung des Umformers und durch zu niedrige Eigenfrequenz des Kathetersystems (z.B. durch Luftblasen!) verursacht werden (s.a. Aufbau Nr. 2).

7.4. Komplikationen beim Ziehen des Katheters

1) Arrhythmien

Beim Zurückziehen des Katheters mit leerem Ballon treten manchmal Arrhythmien auf, da die ungeschützte Spitze das Endokard irritieren kann. Darum ist es angebracht, beim Ziehen des Katheters den Ballon zu ca. 50% zu füllen.

2) Abschneiden des Katheters

Ein Abschneiden des Katheters ist vermeidbar, wenn man anstelle der Punktionskanülen Braunülen verwendet oder nach Erweiterung der Punktionsstelle mit einem Kathetereinführungssystem (SELDINGER - Besteck) den Katheter durch einen Teflontubus einführt.

Werden bei der Implantation oben angeführte Komplikationsmöglichkeiten und Gegenmaßnahmen berücksichtigt, so läßt sich das Komplikationsrisiko weiter senken.

8. AUSSAGEMÖGLICHKEITEN (10,19,20,21,22,24,27,30)

8.1. Quantitative Beurteilung der rechts- und linksventrikulären Funktion

Rechter und linker Ventrikel arbeiten als in Serie geschaltete Pumpen. Deshalb muß die Auswurfleistung beider Ventrikel gleich groß sein. Hinsichtlich des Funktionsstandes und der Auswurfdrücke gibt es jedoch für jeden Ventrikel erhebliche Unterschiede. Zum Ausgleich dieser Unterschiede stimmen die Ventrikel ihre Pumparbeit durch jeweils unabhängige Änderung der Kontraktilität und/oder Regulierung des FRANK-STARLING-Mechanismus aufeinander ab, wobei letzterer die Stärke der Kontraktion in Abhängigkeit von der enddiastolischen Muskelfaserlänge steuert.

Wird das Verhältnis von enddiastolischen Ventrikeldruck (EDVP) und ventrikulärer Schlagvolumenarbeit (VSW) bestimmt, erhält man über den Zustand der Ventrikelfunktion wertvolle Information. Dem linken EDVP entspricht der PCWP, dem rechten EDVP der ZVD; rechts ist der EDVP aber auch direkt meßbar.

Die ventrikuläre Schlagarbeit wird wie folgt berechnet:

Rechts: RVSWI = (rechtsventrikulärer Schlagarbeits-Index)

$$= \frac{CI \cdot PAMP \cdot 13{,}6}{\text{Herzfrequenz}} \quad \text{Norm 8-12 g}\cdot\text{m/m}^2 \text{ KOF}$$

$$CI = \text{Herzindex} = \frac{\text{Herzzeitvolumen (liter/min)}}{\text{KOF (m}^2\text{)}}$$

PAMP = Pulmonalarterienmitteldruck (mm Hg)

Links: LVSWI = (linksventrikulärer Schlagarbeits-Index)

$$= \frac{CI \cdot MAP \cdot 13{,}6}{\text{Herzfrequenz}}$$ Norm 51-61 $g \cdot m/m^2$ KOF

MAP = arterieller Mitteldruck (mm Hg)

Wird in einem Arbeitsdiagramm auf der Ordinate die ventrikuläre Schlagarbeit als Funktion des auf der Abzisse eingezeichneten enddiastolischen Ventrikeldruckes aufgezeichnet, erhält man für den linken (Fig. 8.1.) und rechten (Fig. 8.2.) Ventrikel charakteristische Funktionskurven (22).

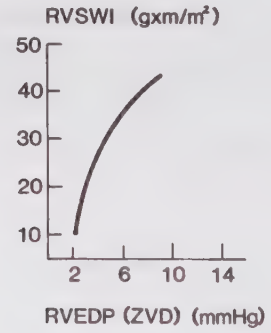

Fig.8.2.

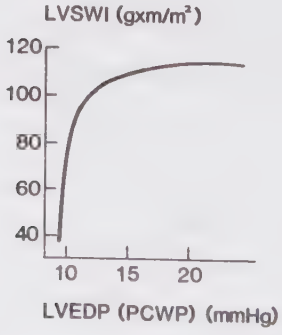

Fig.8.1.

Hervorgehoben sei, daß die Skalenbereiche für Schlagarbeit wie auch Form und Steigung der Kurven deutliche Unterschiede zeigen. Es ist daher leicht zu verstehen, daß Annahmen, die von einer direkten Beziehung zwischen dem RVEDP und der LVSW ausgehen, ein erheblicher Irrtum zugrunde liegt.

Dies geschieht häufig dann, wenn man im ZVD den einzigen Indikator für die Schlagarbeit des linken Ventrikels sieht.

Normalerweise kommt es bei Zunahme des enddiastolischen Druckes zu einem raschen Anstieg der Schlagarbeit des Ventrikels, bis bei höheren Füllungsdrücken ein Plateau erreicht wird.

Wird in einer Meßreihe schrittweise der enddiastolische Druck durch Infusion von kristallinen oder kolloidalen Flüssigkeiten angehoben und jeweils die Schlagarbeit des Ventrikels berechnet, so erhält man eine Kurvenfamilie; da sich bei Veränderungen der Kontraktilität auch die Lage der Ventrikelfunktionskurven verändert. Dies bedeutet, daß bei einer Besserung der Kontraktilität des insuffizienten Myokards, z.B. durch Digitalis, eine Verschiebung auf eine mehr links gelegene Ventrikelfunktionskurve erfolgt und nicht eine Verschiebung auf ein und derselben Kurve (31).

Entsprechend erfolgt bei einer Verschlechterung der Kontraktilität eine Verschiebung auf eine mehr rechts und

unten gelegene Kurve. So kann man das Koordinationssystem in verschiedene Bereiche einteilen (Fig. 8.3.), die, wenn durch den jeweiligen Bereich die Ventrikelfunktionskurve verläuft, eine bestimmte Aussage gestatten (21).

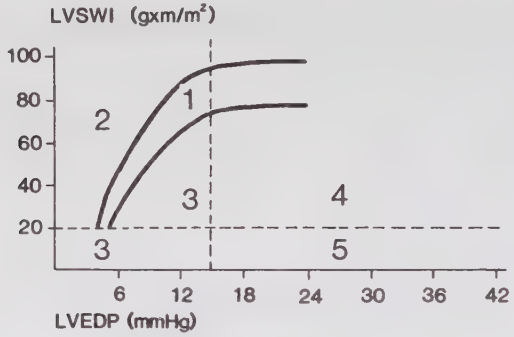

Fig.8.3.

1) Normale linksventrikuläre Funktion
2) Hyperkinetische Reaktion
3) Hypovolämie
4) Linksinsuffizienz
5) Kardiogener Schock

So ist bei einem Vergleich von prae- und postoperativ ermittelten Funktionskurven eine quantitative Aussage über die erreichte Effizienz der durchgeführten Operation möglich.

Schließlich sei noch auf gewisse Einschränkungen bei der Verwendung der Ventrikelfunktionskurven hingewiesen:

1) Bei klinischen Funktionsanalysen wird der enddiastolische Druck als Maß für die enddiastolische Muskelfaserlänge herangezogen, welche im FRANK-STARLING-

Mechanismus in Beziehung zur Kontraktionskraft steht. Obwohl der enddiastolische Druck nicht in linearer Beziehung zur enddiastolischen Faserlänge steht, ist er ein brauchbarer klinischer Parameter.

2) Veränderungen der Druckarbeit des Ventrikels können die Aussagekraft des enddiastolischen Druckes als Maß für akute Veränderungen der Herzkammergröße und der Muskelfaserlänge beeinträchtigen.

3) Es gibt sichere Hinweise dafür, daß eine erhebliche Dilatation des linken Ventrikels als Folge von Strukturveränderungen auftreten kann, ohne daß sich dabei die Länge der Muskelfasern dabei ändert (22).

Trotz dieser Einschränkungen kann die Messung des enddiastolischen Ventrikeldruckes, der Schlagvolumenarbeit des Ventrikels sowie die Aufstellung einer Ventrikelfunktionskurve in regelmäßigen Abständen wertvolle Information über die Leistungsfähigkeit des Ventrikels beisteuern. Damit kann man sich ein genaues Urteil über die Fähigkeit des Herzens bilden, auf den Streß einer schweren Erkrankung adäquat zu reagieren (22).

8.2. Beurteilung des Herzzeitvolumens und des Rechts-Links-Shunts

Prinzipielles:
Wird ein Indikator (z.B. Farbstoff oder gekühlte physiologische NaCl-Lösung) rasch irgendwo in den Kreislauf

injiziert, und der zeitliche Ablauf seiner Konzentration an einer anderen Kreislaufstelle fortlaufend registriert, z.B. mit Hilfe einer Lichtquelle, einer Photozelle, eines Verstärkers und eines Schreibsystems, erhält man eine Indikatorverdünnungskurve. Unabhängig von Injektions- und Registrierstelle liegt allen Kurven eine einheitliche Form zugrunde:
Sie ist durch einen kurz nach der Injektion beginnenden allmählichen Konzentrationsanstieg bis zu einem Maximum und einem langsamen Konzentrationsabfall gekennzeichnet.

Bei Verwendung von Farbstoff als Indikator wird im geschlossenen Kreislauf der Konzentrationsabfall durch eine zweite Passage der Farbstoffpartikel unterbrochen. Nach eventuell weiteren Rezirkulationswellen kommt es allmählich zu einem Konzentrationsausgleich, d.h. zu einer gleichmäßigen Durchmischung des Indikators mit dem ganzen Blutvolumen.

Diese Rezirkulationswellen bleiben bei Verwendung gekühlter Lösungen in der Regel aus, da sich das injizierte Volumen rasch vermischt und erwärmt, so daß schon die zweite Passage nicht mehr registriert wird.

Klinische Verwendung:

Die Strömungsverhältnisse zwischen Injektions- und Registrierort bedingen die typische Form der Verdünnungskurven. Aus diesen können folgende wichtige Kreislaufgrößen gemessen oder errechnet werden:

A - das Herzzeitvolumen

Zur Bestimmung des Herzzeitvolumens gibt es drei gängige einander ähnliche Möglichkeiten:

I. - das FICK'sche Prinzip

II. - Dyedilution

III. - Thermodilution

B - Nachweis von Klappeninsuffizienzen und Schätzung der Regurgitation

C - Nachweis und Ausmaß von Shunts

zu A I. Bestimmung nach FICK:

Allgemein gilt, daß

$$\text{Zeitvolumen} = \frac{\text{Testsubstanzaufnahme/Zeit}}{\text{a.-v. Konzentrationsdifferenz}}$$

Der Lungendurchfluß $\dot{Q}_L$ (in l/min) beträgt somit

$$\dot{Q}_L = \frac{O_2\text{-Aufnahme/min}}{O_2 \text{ Lungenvene} - O_2 \text{ A. pulmonalis}}$$

wobei der O_2-Gehalt der Lungenvene und der A. pulmonalis in ml/l Blut eingesetzt werden.

Falls kein Shunt vorhanden ist, so ist das Lungenzeitvolumen gleich dem Körperzeitvolumen. Falls ein Shunt vorliegt, so muß auch das Großkreislaufvolumen (Q_K) berechnet werden:

$$\dot{Q}_K = \frac{O_2\text{-Aufnahme/min}}{O_2 \text{ Aorta} - O_2 \text{ Vv. cavae}}$$

Der mittlere O_2-Gehalt der Vv. cavae berechnet sich aus 2/3 des O_2-Gehaltes der V. cava inf. und aus 1/3 des O_2-Gehaltes der V. cava sup..

Die Herzminutenvolumenbestimmung nach FICK hat einen mittleren Fehler von 5-15%, bedingt durch die Fehler in der Messung der Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffsättigung. Je größer die arteriovenöse Differenz des O_2-Gehaltes wird (allgemein bei kleinem HMV), desto genauer werden die Messungen. Mit der FICK'schen Methode werden über 2-3 Minuten gemittelte Größen bestimmt, so daß nicht rasche, sondern nur anhaltende Veränderungen des HMV gemessen werden können.

zu A II. Dyedilution

Prinzipiell sind die Dilutionsmethoden der FICK'schen Methode gleich zu stellen.
Anstelle des Indikators Sauerstoff wird eine Fremdsubstanz (Farbstoff, Kälte, H-Ionen, Isotopen) verwendet. Während der Sauerstoff kontinuierlich aufgenommen wird, werden die Fremdindikatoren stoßweise zugeführt. Dadurch wird über kürzere Zeitintervalle (8-60 Sekunden) als bei der FICK'schen Methode gemittelt.
Die Genauigkeit der Dilutionsmethoden steigt mit Zunahme des HMV. Umgekehrt verhält es sich mit der FICK'schen Methode.
Wird eine bekannte Farbstoffmenge I in den Kreislauf mit dem unbekannten Zeitvolumen Q injiziert und stromabwärts von der Injektionsstelle die Konzentration c (t) fortlaufend registriert, so gilt:

$$I = \int \dot{Q}\, c(t)\, dt$$

falls Q konstant ist, so gilt:

$$\dot{Q} = \frac{I}{\int c(t)\, dt}$$

Der Nenner dieses Quotienten ist das Integral der Konzentrationszeitkurve, was graphisch der Fläche unter der Primärkurve, d.h. dem ersten Farbstoffdurchgang entspricht.

Die Formel für das Herzminutenvolumen (HMV) lautet:

$$HMV = \frac{60\ I}{\int c(t)\, dt}$$

Die Rezirkulation muß von der ersten Farbstoffpassage (Primärkurve) durch Extrapolation abgetrennt werden. Da bei schwerer Herzinsuffizienz und im Schock die Abtrennung schwer gelingt, kann durch Näherrücken der Injektions- an die Meßstelle diese Schwierigkeit überwunden werden (z.B. Injektion in die V. cava, und Messung in der A. pulmonalis).

zu A III. Thermodilution

Als Indikator werden 5-10 ml eiskalter Kochsalzlösung benützt. Die Temperaturmessung distal der Injektionsstelle wird als Konzentrationsmessung verwendet. Bei Verwendung geringer Kältemengen fehlt eine Rezirkulation, dadurch kann sofort nach Ablauf einer Kälteverdünnungskurve die nächste Injektion erfolgen. Diese rasche und fast unbegrenzte Wiederholbarkeit gestattet die Messung auch kurz dauernder Veränderungen des HMV.

Verbindliche Messungen sind jedoch nur bei Kälteinjektion in die großen zentralen Gefäße bzw. Herzhöhlen zu erwarten.

Für die Thermodilutionsmethode hat sich der SWAN - GANZ Katheter besonders bewährt.

Das Herzminutenvolumen berechnet sich als Quotient aus:

$$HMV = \frac{60\ I}{F \cdot C_B \cdot \rho_B}$$

I = injizierte Kälte (cal)

F = Fläche der Temperaturzeitkurve (^{o}C sec)

C_B = spezifische Wärme des Blutes (cal/g ^{o}C)

ρ_B = Dichte des Blutes (g/ml)

Klinische Bedeutung:

Verschiedene Krankheiten führen zu einer Erhöhung des HMV, so z.B. Hyperthyreose, hyperkinetisches Kreislaufsyndrom, schwere Anämie, arteriovenöse Anastomosen, seltener Leberzirrhose, akute Blutvolumenzunahme (Infusion, Transfusionen). Zu einer Verminderung des HMV führen Herzinsuffizienz, Hypothyreose, akute Blutvolumenverminderung (Blutverlust, Exsikose, starke Orthostasereaktion, Dumping-Syndrom, Schock).

zu B. Klappeninsuffizienz

Der sicherste Beweis einer Klappeninsuffizienz ist der Nachweis von Indikator stromaufwärts von der undichten Klappe, unmittelbar nach seiner Injektion stromabwärts davon. Diese Methode kann nicht nur zum Nachweis, son-

dern auch zur quantitativen Bestimmung des Regurgitationsvolumens herangezogen werden.

Wenn $\dot{Q}_V$ = das Vorwärtsvolumen

$\dot{Q}_R$ = das Rückwärtsvolumen

F_A = die Fläche der Indikatorverdünnungskurve stromaufwärts von der undichten Klappe

F_B = die Fläche der Indikatorverdünnungskurve stromabwärts von der undichten Klappe

ist, so ist die regurgitierte Indikatormenge:

$$\dot{Q}_R \times F_B.$$

Die Indikatormenge, welche die undichte Klappe in normaler Strömungsrichtung wiederum durchfließt, beträgt:

$$(\dot{Q}_R + \dot{Q}_V)\ F_A$$

Da die gesamte Indikatormenge, die regurgitiert, schließlich auch wieder vorwärtsfließt, gilt:

$$\dot{Q}_R \times F_B = (\dot{Q}_R + \dot{Q}_V)\ F_A \quad \text{und}$$

$$\dot{Q}_R = \dot{Q}_V \frac{F_A}{F_B - F_A}$$

Voraussetzung für diese Berechnung ist eine vollständige Durchmischung von Blut und Indikator, denn nur dann darf aus der Bewegung von Indikator auf eine Bewegung von Blut geschlossen werden. Diese Bedingung ist meist nicht erfüllt. Anhaltspunkte für undichte Klappen können schon die Druckmessungen ergeben. So findet man bei undichten Segelklappen eine überhöhte v-Welle im entsprechenden Vorhof und bei undichten Taschenklappen zeigt sich eine erhöhte Druckamplitude in der Aorta bzw. A. pulmonalis.

Das Ausmaß dieser Druckveränderungen ist aber stark vom Druck-Volumen-Diagramm des entsprechenden Herz- oder Gefäßabschnittes abhängig, so daß aus der Druckveränderung nur mit großer Vorsicht auf das Ausmaß des Regurgitationsvolumens geschlossen werden kann.

Klinische Bedeutung:

Eine Klappeninsuffizienz bedeutet eine Volumenbelastung und damit eine Vergrößerung der Herz- und Kreislaufabschnitte vor und hinter der undichten Klappe. Die Herzvergrößerung ist aber nicht nur abhängig vom Ausmaß der Regurgitation, sondern auch vom Zustand des Myokards. Der qualitative Nachweis einer Klappeninsuffizienz genügt somit für die Beurteilung eines Herzklappenfehlers nicht, insbesondere wenn es um die Indikation einer operativen Korrektur geht. Eine Regurgitationsfraktion (Anteil des Regurgitationsvolumens am gesamten Schlagvolumen) unter 30% entspricht einer leichten Klappeninsuffizienz, welche in der Regel gut toleriert wird. Bei einer Regurgitationsfraktion über 50%, welche einer schweren Klappeninsuffizienz entspricht, ist auf die Dauer mit einer Schädigung des Myokards zu rechnen und die Indikation zu einer operativen Korrektur in der Regel gegeben.

zu C. Shunt

Ein Rechts-Links-Shunt äußert sich nach venöser Indikatorinjektion in einem vorzeitig eintreffenden Indikatorpaket, das die Lungenpassage im arteriellen System

umgangen hat. Zur Berechnung der kurzgeschlossenen Blutströmung kann die sog. "forward triangle"-Methode verwendet werden (37). Wegen der geometrischen Ähnlichkeit von Shuntanteil und Lungenpassage werden die initialen Dreiecke des Shuntanteils (F_s) und der Lungenpassage (F_c) anstelle der Gesamtflächen unter den Kurven zueinander in Beziehung gesetzt. Die Formel lautet:

$$\frac{\text{Rechts-Links-Shunt}}{\text{Körperzeitvolumen}} = \frac{F_s}{F_s + F_c}$$

Mit Hilfe der Blutgasanalyse läßt sich der Rechts-Links-Shunt nach folgender Formel berechnen (27):

$$\frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_T} = \frac{C_c - C_a}{C_c - C_{\bar{v}}} \qquad (1)$$

wobei $\dot{Q}_S$ = R-L-Shunt-Volumen

$\dot{Q}_T$ = totales Herzzeitvolumen

S = Sauerstoffsättigung %

C = Sauerstoffgehalt (ml/100 ml)

A = alveolär

a = arteriell

c = pulmonalkapillär

$\bar{v}$ = gemischtvenös

P_B = atmosphärischer Druck

Man kann davon ausgehen, daß die kapillare Sauerstoffspannung gleich der alveolären Sauerstoffspannung ist.

$$Pc_{O_2} = PA_{O_2} \qquad (2)$$

Die alveoläre Sauerstoffspannung läßt sich unter Atmung von reinem Sauerstoff während 20 Min., ausgehend vom

atmosphärischen Druck, vermindert um den Wasserdampfdruck bei Körpertemperatur (PA_{H_2O}) und die arterielle Kohlendioxidspannung, berechnen:

$$PA_{O_2} = P_B - (PA_{H_2O} + Pa_{CO_2}) \quad (3)$$

Aus der damit bestimmten Sauerstoffspannung kann der kapillare Sauerstoffgehalt berechnet werden, sofern 100%ige Sättigung angenommen werden kann, d.h. in der Praxis, solange die kapillare Sauerstoffspannung über 150 mm Hg beträgt. Dies muß zutreffen, wenn die arterielle Sauerstoffspannung über 150 mm Hg liegt, da die kapillare Sauerstoffspannung in jedem Fall höher sein muß als die arterielle. So läßt sich die Gleichung (1) in eine Form bringen, deren Größen am Patienten leicht meßbar sind.

$$\frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_T} = \frac{(PA_{O_2} - Pa_{O_2})\ 0{,}0031}{(C_a - C_v) + (PA_{O_2} - Pa_{O_2})\ 0{,}0031} \quad (4)$$

(siehe auch 8.4.)

Ein Links-Rechts-Shunt zeigt sich in einer Verlängerung des Verdünnungsschenkels der Farbstoffverdünnungskurve, weil ein Teil des Blutes, welches die Lunge durchflossen hat, wieder ins rechte Herz bzw. in den Lungenkreislauf geshuntet wird.

Zur Berechnung des Shunts bei Injektion in die A. pulmonalis oder in das rechte Herz haben CARTER und Mitarbeiter (38) zwei empirische Formeln angegeben:

$$\% \text{ Links-Rechts-Shunt} = 141 \frac{C_{max1} + KZ}{C_{max1}} - 42$$

oder

$$\% \text{ Links-Rechts-Shunt} = 135 \frac{C_{max1} + 2\ KZ}{C_{max1}} - 14$$

wobei

C_{max1} = die Maximalkonzentration

$C_{max1} + KZ$ = die Konzentration eine Konzentrationszeit nach der Zeit der maximalen Konzentration

$C_{max1} + 2\ KZ$ = die Konzentration eine weitere Konzentrationszeit später

Berechnung der Klappenöffnungsfläche

Bei Kenntnis des Druckes vor und hinter einer Stenose und des Durchflußes kann aufgrund einfacher hydrodynamischer Gesetze die Klappenöffnungsfläche errechnet werden. Die Geschwindigkeit V ist proportional der Wurzel aus der Druckdifferenz:

$$V = \sqrt{2gh}$$

wobei h die Höhe der Wassersäule vor dem Hindernis und g die Erdbeschleunigung bedeutet.

Die Klappenöffnung q und das durchfließende Volumen pro Zeiteinheit $\dot{Q}$ hängen wie folgt zusammen:

$$\dot{Q} = q \cdot V \qquad \text{und damit gilt:}$$

$$q = \frac{\dot{Q}}{V} = \frac{\dot{Q}}{\sqrt{2g} \cdot \sqrt{\Delta P}}$$

Hier steht die Druckdifferenz Δ P über der Stenose umgerechnet in cm H_2O unter dem Wurzelzeichen. Die Durchflußmenge $\dot{Q}$ muß auf die effektive Öffnungszeit der Klappen umgerechnet werden.

Die Einführung eines dimensionslosen Koeffizienten c für den Energieverlust infolge Beschleunigung des Blutes u.a.m. ergibt folgende allgemeine Formel:

$$q = \frac{\dot{Q}}{c\ 44{,}5\ \sqrt{\Delta P}}$$

Bei Bestimmung des mittleren diastolischen Druckgradienten aus simultan geschriebener Vorhof- und Ventrikelkurve ist der Faktor c nahe bei 1,0. Für Aorten- und Pulmonalklappen beträgt er 1,0.

Klinische Bedeutung:

Der Schweregrad einer Stenose kann unabhängig vom Myokardzustand nur beurteilt werden, wenn die Klappenöffnung, d.h. sowohl der Druckgradient über der Stenose als auch der Durchfluß, bekannt ist. Der Druckgradient allein ergibt zu wenig Information. Zum Beispiel kann bei zu enger Stenose infolge myokardialer Insuffizienz der Durchfluß herabgesetzt sein, so daß der Druckgradient nicht groß ist. Allgemein kann gesagt werden, daß beim Erwachsenen Klappenöffnungsflächen um 1 cm^2 mittelschweren Stenosen entsprechen. Klappenöffnungsflächen um 0,5 cm^2 sind schwerer zu bezeichnen und sollten in der Regel operiert werden. Klappenöffnungsflächen um 1,5 cm^2 und darüber stellen kaum je eine Operationsindikation dar.

Das Einsatzgebiet des SWAN - GANZ Katheters ist in einem solchen Fall weniger die Diagnostik einer Herzklappenstenose, sondern viel mehr die quantitative Erfassung des Ausmaßes der Stenose, einer reaktiven pulmonalen Hypertonie und der myokardialen Schädigung (24).

8.3. Informationen über die metabolische Situation

Da es mit Hilfe des SWAN - GANZ Katheters möglich ist, sowohl pulmonales Venenblut bei aufgeblasenem Ballon wie auch gemischtvenöses Blut bei nicht aufgeblasenem Ballon mit dem distalen Lumen zu aspirieren, kann man Aussagen über die metabolische Situation machen. Gemessen bzw. berechnet können die O_2-Extraktionsrate, die O_2-Transportkapazität und die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung werden.

Die O_2-Extraktionsrate wird wie folgt berechnet:

$$O_2\text{'x'ratio} = \frac{a\text{-}\bar{v}\ DC_{O_2}}{Ca_{O_2}} \qquad \text{wobei}$$

$a\text{-}\bar{v}\ DC_{O_2}$ = arteriovenöse Sauerstoffdifferenz (s.a. 8.4.)

Ca_{O_2} = arterieller Sauerstoffgehalt

Wenn alle Hb-Moleküle mit O_2 besetzt sind, liegt eine 100%ige Sättigung vor. Die absolute O_2-Menge in ml, die dabei pro 100 ml Blut vorhanden ist und je nach Hb-Gehalt schwankt, kennzeichnet die O_2-Kapazität. Die O_2-Sättigung erhält man folgendermaßen:

$$O_2\text{-Sättigung (S } O_2)\% = \frac{HbO_2}{Hb + HbO_2}$$

$$O_2\text{-Kapazität} = Hb + HbO_2 + (O_2)_{\text{physik.}}$$

$$= \frac{HbO_2 + (O_2)_{\text{physik.}}}{S\ O_2}$$

Mit diesen Größen unter Berücksichtigung der Sauerstoffdissoziationskurven lassen sich Aussagen über die Gewebsoxygenierung machen. Ist der Sauerstoffverbrauch variabel, bleiben aber Hb und die arterielle Sauerstoffsättigung (Sa_{O_2}) jedoch unverändert, so sprechen Werte der venösen Sauerstoffsättigung ($S\bar{v}_{O_2}$) $>$ 60 % für eine ausreichende Sauerstoffversorgung in der Peripherie. Werte der ($S\bar{v}_{O_2}$) $<$ 50% sind als sicher pathologisch anzusehen. Sie stellen eine Beatmungsindikation dar.

8.4. Differenzierte Beurteilung der pulmonalen Gasaustauschfunktion (22)

Da viele Patienten im frühen Stadium einer akuten respiratorischen Insuffizienz noch eine ausreichende arterielle Oxygenierung haben, ist es wichtig, sich über die Effizienz des Sauerstoffaustausches in der Lunge ein Bild zu machen. Hier können nämlich schon pathologische Veränderungen im Gange sein, noch bevor die Fähigkeit zu einer angemessenen Oxygenierung beeinträchtigt ist. Einer der empfindlichsten Gradmesser einer frühen respiratorischen Insuffizienz ist der alveoloarterielle Sauerstoffgradient ($A\text{-}aD_{O_2}$), da er eine Störung des Gasaustausches oft früher anzeigt als jeder andere Einzelparameter.
Der $A\text{-}aD_{O_2}$ ist ein Indikator für die Effizienz des Sauerstoffaustausches in der Lunge. Er kann bei jeder beliebigen prozentualen Sauerstoffsättigung der Atemluft (F_{IO_2})

gemessen werden; in der Praxis wird er jedoch meistens gemessen, während der Patient 100% O_2 atmet (F_{IO_2} = 1,0). Atmet der Patient bei einer F_{IO_2} = 1,0, dann ist die O_2-Spannung in allen ventilierten Alveolen gleich. Unter diesen Umständen ist der $A\text{-}aD_{O_2}$ eine Bezugsgröße für das physiologische Shuntvolumen in der Lunge; dies entspricht dem Anteil der Alveolen, die zwar durchblutet werden, aber gänzlich unbelüftet sind; das bedeutet, der Quotient aus Ventilation und Perfusion (V_A/Q) ist gleich Null.

Neuerdings wird in der Literatur die Berechnung des $A\text{-}aD_{O_2}$ bei einer F_{IO_2} = 1,0 heftig diskutiert, da die Inhalation von 100% Sauerstoff auch nur während kurzer Zeit, Absorptionsatelektasen verursacht. Infolge des großen Diffusionsgradienten zwischen PA_{O_2} und $P\bar{v}_{O_2}$ erfolgt ein rascher Sauerstoffausstrom aus der Alveole, deren Kollaps aber der restliche P_{CO_2} und P_{H_2O} möglicherweise nicht verhindern kann. Ist einmal eine Absorptionsatelektase entstanden, dann sind die einzelnen Alveolen wegen ihrer hohen Oberflächenspannung nur schwer mit hohen Beatmungsdrucken wieder zu belüften.

Berechnung des $A\text{-}aD_{O_2}$ bei F_{IO_2} = 1,0:

<u>Beispiel:</u>

Nach 20-minütiger Beatmung mit 100% O_2 werden im arteriellen Blut folgende Werte gemessen: pH = 7,48; Pa_{CO_2} = 39 mm Hg; Pa_{O_2} = 325 mm Hg; HCO_3^- = 28 mÄq/l; Sa_{O_2} = 99,7%; P_B = 752 mm Hg; P_{H_2O} bei 37°C Körpertemperatur =

47 mm Hg. Pa_{CO_2} und PA_{CO_2} können bei F_{IO} = 1,0 gleichgesetzt werden. P_B = barometrischer Druck.

Es ergibt sich folgende Rechnung:

P_B	752 mm Hg
P_{H_2O}	-47 mm Hg
korrigierter P_B	705 mm Hg
PA_{CO_2}	-39 mm Hg
PA_{O_2}	666 mm Hg
Pa_{O_2}	-325 mm Hg
$A\text{-}aD_{O_2}$	341 mm Hg

Der $A\text{-}aD_{O_2}$ wird von folgenden Faktoren beeinflußt:

1) Das Ausmaß des Rechts-Links-Shunts ($\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$)
2) Die Sauerstoffkonzentration der Inspirationsluft (F_{IO_2})
3) Die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz ($a\text{-}\bar{v}DC_{O_2}$)
4) Die Sauerstoffextraktion, wegen seiner Bedeutung für die $S\bar{v}_{O_2}$
5) Das Herzzeitvolumen
   a) infolge von Änderung der $a\text{-}\bar{v}DC_{O_2}$ bei gleichbleibender Sauerstoffextraktion
   b) infolge einer Umverteilung der Lungendurchblutung
6) Der arterielle Bereich der Sauerstoffdissoziationskurve
7) Die Konfiguration der Sauerstoffdissoziationskurve

Da obstruktive Lungenerkrankungen in der Regel nicht einen totalen Mangel an Belüftung bei erhaltener Perfusion ($V_A/Q = O$) implizieren, muß der Patient nicht notwendigerweise eine vergrößerte $A\text{-}aD_{O_2}$ ($F_{IO_2} = 1{,}0$) aufweisen, es sei denn, eine akute respiratorische Insuffizienz verschlimmere seine vorbestehende Lungenerkrankung. Im $A\text{-}aD_{O_2}$ (F_{IO_2}) muß daher ein guter Indikator zur frühzeitigen Erfassung einer pulmonalen Verschlechterung gesehen werden.

Wegen der unmittelbaren Abhängigkeit vom $A\text{-}aD_{O_2}$ ist die Berechnung des prozentualen Shuntvolumens ($\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$) (Rechts-Links-Shunt) für die Beurteilung der pulmonalen Gasaustauschfunktion außerordentlich wichtig. Der Shunt gibt an, welcher Anteil des Herzzeitvolumens nicht-oxygeniert zum linken Herzen zurückkehrt. Für die Vergrößerung des Shuntvolumens gibt es vier wichtige Ursachen:

1) gestörte Diffusion
2) inhomogenes Ventilation-Perfusions Verhältnis
3) anatomische Shunts
4) Kollaps von Alveolen (z.B. bei $V_A/Q = O$)

Beim Gesunden beträgt der Shunt ($\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$) etwa 3-5%, beim Schwerkranken ist jedoch ein Shuntvolumen bis zu 15% nicht ungewöhnlich (22). Steigt der $\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$, muß man die F_{IO_2} erhöhen und/oder zusätzlich mit PEEP beatmen. Der $\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$ kann bei beliebiger F_{IO_2} berechnet werden, ist jedoch einfacher wegen des hierfür benötigten $A\text{-}aD_{O_2}$ bei

einer F_{IO_2} = 1,0. Folgende Größen werden benötigt:

1. $A\text{-}aD_{O_2}$
2. $a\text{-}\bar{v}DC_{O_2}$

Für die Bestimmung der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz ist die Gewinnung von gemischtvenösem Blut und die Bestimmung des Hb's notwendig. Außerdem muß der Pa_{O_2} mindestens 150 mm Hg betragen, da bei diesem Partialdruck das Hämoglobin voll mit Sauerstoff gesättigt ist und jeder weitere Anstieg des Pa_{O_2} ist auf eine Zunahme des physikalisch im Plasma gelösten O_2 zurückzuführen.

Wenn

$\dot{Q}_S$ = R-L-Shuntvolumen

$\dot{Q}_T$ = Herzzeitvolumen

$A\text{-}aD_{O_2}$ = alveoloarterieller O_2-Gradient

0,0031 = Löslichkeitskoeffizient von O_2 im Plasma

$a\text{-}\bar{v}DC_{O_2}$ = arteriovenöse O_2-Differenz

so gilt

$$\dot{Q}_S/\dot{Q}_T = \frac{A\text{-}aD_{O_2} \times 0{,}0031}{a\text{-}\bar{v}DC_{O_2} + A\text{-}aD_{O_2} \times 0{,}0031}$$

dabei ist

$$a\text{-}\bar{v}DC_{O_2} = Ca_{O_2} - C\bar{v}_{O_2}$$

Ca_{O_2} = (Hb x 1,39) Sa_{O_2} + (Pa_{O_2} x 0,0031)

$C\bar{v}_{O_2}$ = (Hb x 1,39) $S\bar{v}_{O_2}$ + ($P\bar{v}_{O_2}$ x 0,0031)

Ca_{O_2} = O_2-Gehalt des arteriellen Blutes

$C\bar{v}_{O_2}$ = O_2-Gehalt des gemischtvenösen Blutes

$Hb^{'}$ = Hämoglobinkonzentration in g/100 ml

1,39 = O_2-Menge (ml), die von 1 g Hg transportiert wird

Die Berechnung von $\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$ nach der obigen Gleichung ist aber zu aufwendig, als daß sie während der Behandlung eines Patienten regelmäßig durchgeführt werden könnte. So existieren computergerechte Tabellen bzw. Nomogramme in denen die Resultate nachgesehen werden können.

9. DISKUSSION

In dem oben zitierten Artikel im Deutschen Ärzteblatt 40/77 wird vom Filmausschuß der Bundesärztekammer eindringlich auf den wissenschaftlichen Film als Medium der Fortbildung verwiesen. Wie sehr richtig festgestellt wird, verliert der Film seine Vermittlerpotenz, wenn er als Lückenbüßer oder als Anhängsel von Fortbildungsveranstaltungen benutzt wird. Er kann seinem Auftrag nur dann gerecht werden, wenn er im Mittelpunkt der Veranstaltung steht und die Thematik des Films auch diejenige der nachfolgenden eingehenden Diskussion ist.

Ein Lehrfilm sollte nicht wesentlich über 20 minuten Laufzeit hinausgehen bzw. bei längerer Dauer vom Veranstalter unterbrochen werden, um eine Zwischendiskussion einzuschieben. Nur wenige Menschen können mehrere geistige Operationen, wie Aufnahme, Verarbeitung und Anwendung der Information über eine längere Zeit mit Erfolg durchführen.

Der Film kann neue Wissensinhalte auch nur theoretisch vermitteln, die Praxis muß in weiteren Phasen des Lernens vom Lernenden selbst nach wie vor erworben werden. Diese kann aber durch das wiederholbare Zuschauen erheblich vereinfacht werden, insbesondere dann, wenn der Film die Basis einer ausführlichen Diskussion ist.

Hoffentlich kann der vorliegende Film: "Der SWAN - GANZ Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin"

diesen hohen Anforderungen stand halten.

Der SWAN - GANZ Katheter hat gewissermaßen die Rechts-Herzkatheterisierung revolutioniert. Mußte ehedem unter hohem Risiko und Röntgenkontrolle der Katheter mit Geschick durch das rechte Herz hindurch manöveriert werden, so bringt der SWAN - GANZ Katheter große Vereinfachung in der Handhabung. In der kooperativen Studie von BRAUNWALD vor Einführung des SWAN - GANZ Katheters werden Todesfälle in 0,44% der Fälle, in den Studien mit SWAN - GANZ Katheter nur in 0-0,02% der Fälle angegeben.

In gleichem Maße ließen sich die obigen Komplikationsraten senken. Im Regelfall ist keine Röntgenkontrolle erforderlich und mit Hilfe des Ballons an der Spitze sucht sich der Katheter den Weg selbst. Mit eben diesem Ballon ist es auf genialer Weise möglich, den Kapillarverschlußdruck zu messen, der unter gewissen Voraussetzungen ein gutes Maß für den enddiastolischen Füllungsdruck im linken Ventrikel darstellt. Dieser wiederum ist der wichtigste Parameter einer Funktionsaussage über das linke Herz.

In den letzten Jahren erlebt der SWAN - GANZ Katheter ein ständig wachsendes Einsatzgebiet. Anfangs in der internistischen Kardio- und Pulmonologie eingesetzt, gehört er heute auch in der Kardiochirurgie zum Routineprogramm. Zum Einen lassen sich auf Grund der genaueren Untersuchungsergebnisse die Indikationen für Herzopera-

tionen präziser formulieren, zum Anderen sind nach vergleichenden prä- und postoperativen Untersuchungen Aussagen über die Effizienz der durchgeführten Operation möglich. Dieses gestattet dann eine genauere Prognosestellung.

Insbesondere bei Polytraumatisierten weitet sich das Indikationsgebiet für den SWAN - GANZ Katheter, da durch den schützenden Ballon das Arrhythmierisiko durch den Katheter nur unwesentlich steigt, vor allem im Vergleich zu dem zu erwartenden Nutzen. Die technischen Weiterentwicklungen z.B. Katheter zur intrakardiellen Rhythmusstimmulierung sorgen für neue Möglichkeiten.

Meinungsverschiedenheiten bestehen zur Zeit über die zu vertretende Liegedauer des Katheters. Es wurde über Liegezeiten bis zu 12 Tagen berichtet. Bei den Differenzen geht es weniger um das Thrombose- bzw. Thrombophlebitisrisiko mit all seinen Folgen als viel mehr darum, in wie weit die Herzklappen durch den Katheter beschädigt werden. Als Ursache für die MITTERMAIER'schen Klappenveränderungen wird der Pulmonaliskatheter bzw. seine lange Liegedauer diskutiert. Hier wird die Zukunft nähere Auskunft geben müssen.

Allgemein darf durch die niedrigen Komplikationsraten nicht der Eindruck entstehen, es handele sich um eine harmlose Untersuchung. Dadurch daß der Katheter durch das rechte Herz bis in die Lunge ragt, bestehen Komplikationsmöglichkeiten an vitalen Organen, die nur durch

die peinliche Beachtung der Handhabungsrichtlinien vermieden werden können.

Unter dieser Voraussetzung ist es eben wegen der verhältnismäßig einfachen Technik auch dem Ungeübten möglich, eine Implantation vorzunehmen.

Der SWAN - GANZ Katheter ist heute aus dem Routineprogramm der Kardiochirurgie nicht mehr weg zu denken. Zu wichtig ist die Bestimmung der verschiedenen Drücke und des Herzminutenvolumens sowie die Entnahme gemischtvenösen Blutes zur Berechnung des intrapulmonalen Shunts.

Zum effizienten Einsatz neuer Technologie gehört aber auch die Kenntnis über die Grenzen der Aussagekraft erhaltener Daten. So sei hier abschließend noch einmal darauf hingewiesen, daß der Kapillarverschlußdruck bei Bestehen einer Mitralinsuffizienz nicht als Maß für den linksventrikulären Füllungsdruck gelten kann, welches wegen der Regurgitation leicht einsehbar ist. Ebenso wird der Interpretationswert des PCWP bei vorliegenden Lungengefäßveränderungen beeinträchtigt.

Die Problematik und Handhabung des SWAN - GANZ Katheters darzustellen war Sinn und Zweck dieser Arbeit. Der Film ist sicherlich am besten dazu geeignet, den Umgang mit dem Rechts-Herz-Katheter zu veranschaulichen.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem SWAN - GANZ Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin und wendet sich an medizinisches Pflegepersonal, Studenten und Ärzte.

Hochtechnisierte Operationsverfahren verlangen hochmoderne Erstversorgung und eine ebensolche Diagnostik. Im Rahmen dieser Diagnostik spielt der SWAN - GANZ Katheter eine nicht mehr wegdenkbare Rolle.

In der Arbeit werden die Punkte Physiologische Grundlagen, Aufbau des SWAN - GANZ Kathetersystems, Handhabung, Vorzüge sowie Indikationen und Komplikationen des SWAN - GANZ Katheters und Aussagemöglichkeiten der mit dem Katheter erhaltenen Meßergebnisse abgehandelt.

Bei diesem Katheter handelt es sich um einen mehrlumigen Rechtsherzkatheter, der mit Hilfe eines Ballons in die A. pulmonalis eingeschwemmt wird. Indikationen ergeben sich in der Diagnostik, während der Überwachung und bei der Therapie schwerster cardio-pulmonaler Krankheitsbilder. Obwohl die Komplikationsrate mit diesem Einschwemmkatheter drastisch gesenkt werden konnte, zwingen die verbleibenden Komplikationsmöglichkeiten zu strenger Indikationsstellung. Immerhin lag die Komplikationsrate bei 6438 Einschwemmkatheteruntersuchungen in Deutschland bei 2,56%. Bei gegebener Indikation lassen sich genaue Aussagen über cardio-pulmonale Funktionsstörungen machen.

Die vielen Details, die im Film aus Zeitgründen nicht dargestellt werden können, finden ihren Niederschlag im schriftlichen Teil, welcher dem Interessierten die Möglichkeit geben soll, sich ausführlicher mit dem Themenkreis "SWAN - GANZ Katheter" auseinanderzusetzen.

11. ANHANG

11.1. Daten zum Film nach den Richtlinien des Filmausschusses der Bundesärztekammer

TITEL:	Der SWAN - GANZ Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin
FORMAT:	16 mm (24 B/s)
TON, FARBE:	Ja
LAUFZEIT:	26 min
WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG:	Prof. Dr. H. Junger cand. med. C. Wiemer
REGISSEUR:	cand. med. C. Wiemer
HERSTELLER:	cand. med. C. Wiemer
HERSTELLUNGSJAHR:	1980/81
INHALT:	Physiologische Grundlagen, Aufbau, Handhabung, Vorzüge, Indikationen, Komplikationen des SWAN - GANZ Katheters, Aussagemöglichkeiten der erhaltenen Meßergebnisse
EIGNUNG:	Ärzte, medizinische Assistenzberufe und Studenten

11.2. Vertonungstext zum Film "Der SWAN - GANZ Katheter in der operativen Notfall- und Intensivmedizin"

AUS DEM ZENTRALINSTITUT

FÜR ANÄSTHESIOLOGIE

DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN

DIREKTOR: PROF. DR. R. SCHORER

DER SWAN - GANZ KATHETER

IN DER OPERATIVEN

NOTFALL- UND INTENSIVMEDIZIN

VON

C. WIEMER

UNTER DER LEITUNG

VON

H. JUNGER

UND

K. VAN DEYK

Mit der modernen Intensivmedizin ist es gelungen, die Überlebensrate auch schwerstverletzter Menschen zu erhöhen. Dies wiederum setzt höchste Anforderungen an die Diagnostik und Therapie in der Intensivmedizin voraus. Neue Möglichkeiten zur Früherkennung cardio-vaskulärer und pulmonaler Funktionsstörungen ergeben sich mit der Einführung des SWAN - GANZ Katheters in die operative Notfall- und Intensivmedizin.

PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Um die mit dem Katheter erhaltenen Meßergebnisse bewerten zu können, müssen die physiologischen Druck- und Sauerstoffwerte bekannt sein:

- In dem rechten Vorhof und den Hohlvenen herrschen gleiche Verhältnisse. Der zentralvenöse Druck beträgt im Mittel 5 mm Hg, die Sauerstoffsättigung liegt bei 75%.
- Im rechten Ventrikel mißt der systolische Druck 30 mm Hg, der diastolische 7 mm Hg und die Sauerstoffsättigung 75%.
- In den Pulmonalarterien erhält man einen systolischen Druck von 30 mm Hg, einen diastolischen von 12 mm Hg und eine Sauerstoffsättigung von 75%. Hier liegt gemischtvenöses Blut vor, wobei die Mischung des sehr unterschiedlich mit Sauerstoff gesättigten Blutes aus den Nieren der Leber, dem Koronarsinus und den Hohlvenen im Vorhof beginnt.

- Das aus den Lungenkapillaren gewonnene Blut entspricht dem pulmonalen Venenblut und ist zu 97% gesättigt. Der Druck liegt im Mittel unter 12 mm Hg und wird im wesentlichen vom linken Vorhof aufgebaut.
- So herrscht im linken Vorhof ebenfalls ein Druck von 12 mm Hg. Die Sauerstoffsättigung beträgt hier nur 95%, da ungesättigtes Blut über arteriovenöse Shunts in der Lunge hinzukommt.
- Durch retrograde Linksherzkatheterisierung erhält man für den linken Ventrikel einen systolischen Druck von 150 mm Hg, einen diastolischen von 10 mm Hg und eine Sauerstoffsättigung von 95%.
- In der Aorta mißt man systolisch 150 mm Hg, diastolisch 90 mm Hg. Die Sauerstoffsättigung ist gleichbleibend 95%.
- Mit dem SWAN - GANZ Katheter sind die Daten des rechten Herzens einschließlich der Lungenkapillaren zu ermitteln. Auf Grund dieser Parameter im Zusammenhang mit dem arteriellen Druck sind gezielte Aussagen über die Hämodynamik sowohl des rechten als auch des linken Herzens möglich, sodaß eine Linksherzkatheterisierung in der operativen Intensivmedizin umgangen werden kann.

AUFBAU UND HANDHABUNG DES SWAN - GANZ KATHETERS

Als im Jahre 1773 der englische Wissenschaftler STEPHAN HALES den mittleren Blutdruck bei einem nicht narkoti-

sierten Pferd direkt maß, setzte er das Startzeichen für die physiologische Drucküberwachung. Die sich entwickelnde Blutdruckmessung wurde mit direkt arteriell eingeführten Kanülen vorgenommen. Bis zum 20. Jahrhundert mußte sich die routinemäßige Blutdruckmessung allderdings gedulden, bis nämlich die auskultatorische Messung entwickelt wurde. Der Herzkatheterismus wurde zum erstenmal 1929 von dem deutschen Chirurgen WERNER FORSSMANN im Selbstversuch zur Röntgendarstellung des Herzens und der großen Gefäße durchgeführt.

- 1970 wurde dann der SWAN - GANZ Katheter erstmalig vorgestellt. Dieser Ballooneinschwemmkatheter wird in das venöse Kreislaufsystem eingeführt und besitzt drei Lumina.

- Das erste dient zur Belüftung des Ballons an der Katheterspitze mit 1,2 ml Kohlendioxid. Mit Hilfe dieses Ballons wird der Katheter durch das rechte Herz in die Arteria pulmonalis eingeschwemmt.

- Das zweite Lumen endet an der Spitze des Katheters, welche in einem Ast der Pulmonalarterie zu liegen kommt. An dieses distale Lumen kann ein Monitor zur Drucküberwachung angeschlossen werden. Bei nicht belüftetem Ballon mißt man so den Pulmonalarteriendruck, bei geblähtem Ballon den Kapillarverschlußdruck - englisch "wedge-pressure".

- Das dritte Lumen hat seine Öffnung 30 cm proximal vom distalen Ende des Katheters entfernt und endet so in situ im rechten Vorhof. Dieses proximale Lumen dient zur

Entnahme gemischtvenösen Blutes, zur Applikation von Infusionen und zur Messung des rechtsatrialen Druckes mittels Druckwandler und Monitor.

- Drei Zentimeter vom distalen Ende entfernt befindet sich ein Thermistor, mit dem Bluttemperaturveränderungen auf Grund kalter Infusionen durch das proximale Lumen zur Herzzeitvolumenbestimmung gemessen werden können.
- In Zentimeterabständen vom distalen Ende aus gemessen sind Markierungen zur Abschätzung, wie weit der Katheter vorgeschoben wurde, angebracht.
- Thermistoranschluß, Distales Lumen, Proximales Lumen, Ballonlumen

  Hier ist nur an dem proximalen Lumen des SWAN - GANZ Katheters über einen Verbindungsschlauch ein Spülsystem - in diesem Falle Intraflow^{R} - angeschlossen. Dieses hat Verbindung zur Infusion und zum Druckwandler. Hier werden die Druckwellen in elektrische Impulse umgewandelt und über den Kabelstecker an den Monitor weitergeleitet.

  Im Detail:

  Spülsystem, Verbindung zur Infusion, Druckwandler, Kabelstecker

VORZÜGE DES SWAN - GANZ KATHETERS

Zusammenfassend wären folgende Eigenschaften als besondere günstig zu vermerken.

[VOM BLUTSTROM GELENKTE KATHETERSPITZE]

- Der Blutstrom dirigiert den aufgeblasenen Ballon und damit den Katheter durch das rechte Herz in die Arteria pulmonalis, ohne daß im allgemeinen eine Röntgenkontrolle notwendig wäre. Auf Grund der kontinuierlichen Druckmessung mittels des distalen Lumens kann praktisch jederzeit gesagt werden, wo sich die Katheterspitze befindet.

[REDUZIERUNG VON RHYTHMUSSTÖRUNG]

- Beim Einführen des Katheters wird der Ballon aufgeblasen, sobald die obere Hohlvene erreicht ist. Da der aufgeblasene Ballon die Katheterspitze überragt, werden Endokardirritationen und damit verbundene Rhythmusstörungen während der Katheterwanderung durch das rechte Herz auf ein Minimum reduziert.

[MESSUNG DES RAP, PAP, PCWP UND DER SO_2]

- Da die Öffnung des proximalen Lumens im rechten Vorhof liegt, ist hier jederzeit die Messung des rechtsatrialen Druckes möglich. Vom am distalen Lumen angeschlossenen Registriergerät wird fortlaufend der Pulmonalariendruck gemessen. Wird der Ballon belüftet, läßt sich auf dem Monitor der Wedge-Druck überwachen. Es können so ständig zwei verschiedene Drücke gleichzeitig gemes-

sen werden. Durch Blutentnahme mittels der Lumina kann pulmonalvenöse und gemischtvenöse Sauerstoffsättigung bestimmt werden.

[BESTIMMUNG DES HERZZEITVOLUMENS (THERMO UND DYE)]

- Mit der Indikatordilutionsmethode läßt sich bequem das Herzzeitvolumen ermitteln. Als Indikator wird hauptsächlich Kälte, seltener Farbstoff, verwendet, da es zu keinen Rezirkulationen kommt.

[RÖNTGENOLOGISCHE DARSTELLUNG]

- Das Kathetermaterial gibt im Röntgenbild einen scharfen Schatten. Somit kann bei Komplikationen während der Katheteruntersuchung die Lage des Katheters röntgenologisch verifiziert werden.

[LEICHTE HANDHABUNG]

- Verglichen mit der Linksherzkatheterisierung ist die Katheterisierung des rechten Herzens wesentlich einfacher durchzuführen und birgt ein deutlich geringeres Risiko.

  Für spezielle Indikationen gibt es besondere Katheterausführungen, zum Beispiel für Kinder Katheter mit geringerem Durchmesser.

- Zur Katheterisierung werden benötigt:

  Jod(tinktur), Tupfer, SELDINGER-Besteck mit SELDINGER-Nadel, Führungsdraht, Mandrain, Einmalskalpell, SWAN -

GANZ Katheter mit einer 1-ml-Spritze für den Ballon, welcher hier auf Dichtigkeit geprüft wird, Dreiwegehähne für den Anschluß von zwei Druckwandlern an das proximale und distale Lumen und schließlich Nadel und Nadelhalter für die Fixierung des Katheters.

- Bei der Subclaviapunktion orientiert man sich am lateralen Rand des Musculus sternocleidomastoideus und der Clavicula. Unter einem Winkel von ca. 30^{o} wird dann punktiert.
- Die vorgesehene Punktionsstelle wird sorgfältig mit Jod desinfiziert, anschließend wird mit sterilem Tuch das unmittelbare Umfeld der Punktionsstelle abgedeckt.
- Nach nochmaligem Vergewissern der anatomischen Verhältnisse wird die Vena subclavia punktiert.
- Läßt sich der Spritzenkolben leicht bewegen, so liegt die Nadelspitze gut im Gefäßlumen.
- Die Spritze wird von der Nadel getrennt und der Führungsdraht durch die Nadel eingeführt, welche daraufhin zurückgezogen wird.
- Nun wird mit dem Skalpell ein kleiner Hautschnitt gelegt, um das Vorschieben des Mandrains über den Führungsdraht zu erleichtern.
- Der Führungsdraht wird entfernt und der Mandrain verschlossen.
- Bevor der Katheter implantiert wird, werden das distale und proximale Lumen mit steriler Kochsalzlösung durchspült.

- Der Katheter kann nun mit angeschlossenem Druckwandler und Monitor in den Mandrain eingeführt werden.
- Man achte auf die Markierung! Nach einem Vorschub von ca. 20 cm ist die Vena cava erreicht. In dieser Position wird der Ballon aufgeblasen und der Katheter dann in den rechten Vorhof vorgeschoben. Die Vena cava hat das gleiche Kurvenprofil wie der rechte Vorhof. Hier schematisch die Katheterlage und die rechtsatriale Druckkurve - So die Aufzeichnung auf dem Monitor.
- Nach Überwinden der Trikuspidalklappen liegt die Katheterspitze im rechten Ventrikel. - Schematisch - Das Bild auf dem Monitor.
- Langsames Vorschieben läßt den Ballon, vom Blutstrom gelenkt, die Pulmonalisklappen passieren. - Katheterlage und Kurve - auf dem Monitor.
- Sekunden später verkeilt sich der Ballon in einer peripheren Pulmonalarterie, an Hand der Wedgedruckkurve sicher zu verfolgen.
- Der Ballon wird entlüftet um einen Lungeninfarkt zu vermeiden und die Pulmonalarteriendruckkurve erscheint wieder auf dem Monitor.
- Zur Wiederholung, die Druckkurven im: rechten Vorhof, rechten Ventrikel, Arteria pulmonalis, Wedgeposition - (2x).
- Der Mandrain wird nun zurückgezogen und der Katheter wird mit einer Hautnaht fixiert um ein Vorwandern der

Katheterspitze zu verhindern.

- Die Punktionsstelle wird mit einem Desinfektionsspray eingesprüht und anschließend verbunden.
- Zur exakten Druckmessung muß der Druckwandler schwingungsfrei in Höhe des rechten Vorhofes befestigt werden. Von der Unterlage aus gemessen ist diese bei auf dem Rücken liegenden Patienten gleich 3/5 des Thoraxdurchmessers.
- Das funktionsbereite System umfaßt den Katheter mit am distalen und proximalen Lumen angeschlossenen Druckwandlern, Thermistoranschluß und der 1-ml-Spritze am Ballonlumen.
- Zur Bestimmung des Herzzeitvolumens benötigt man ferner einen Rechner mit Digitalanzeige, einen Schreiber und einen Kühlbehälter. Es werden 10 ml kalte Kochsalzlösung als Bolus in das proximale Lumen injiziert. Der Thermistor 30 cm weiter distal an der Spitze des Katheters mißt die relative Abkühlung des Blutes, welche der Schreiber chronologisch aufzeichnet. Der Rechner ermittelt das Flächenintegral dieser Kurve mit Hilfe dessen er das Herzzeitvolumen errechnet, welches sodann digital angezeigt wird.
- Gegenüber der Dyedilutionsmethode hat diese Thermodilutionsmethode den Vorteil, daß es praktisch keinen Rezirkulationsschub gibt und die Messung sofort wiederholt werden kann. Je höher das Kurvenmaximum und je steiler der Kurvenanstieg, desto geringer ist das Herzzeitvolumen.

INDIKATIONEN

- Als Indikation für den SWAN - GANZ Katheter ist zunächst die Diagnostik klinisch unklarer cardio-pulmonaler Situationen zu nennen, wie sie zum Beispiel bei Schocklunge und Thoraxtraumen vorliegen.
- Weiterhin wäre die cardio-pulmonale Überwachung Schwerstkranker zu nennen. Unter Überwachung ist hier die Früherkennung und quantitative Beurteilung von Komplikationen bei folgenden Patientengruppen zu verstehen:

  Polytraumatisierte
  cardio-chirurgische Patienten
  septische und toxische Krankheitsbilder
  Verbrennungen und Intoxikationen
  postoperative Problempatienten

- Darüberhinaus stellt sich die Indikation zur Therapiesteuerung und -überwachung kritischer hämodynamischer und pulmonaler Zustandsbilder bei obigen Patientengruppen.

Indikationen ergeben sich somit in der Diagnostik, während der Überwachung und bei der Therapie schwerster Krankheitsbilder.

KOMPLIKATIONEN BEIM LEGEN DES KATHETERS

Neben den allgemeinen seien vor allem die typischen Ri-

siken der Katheteruntersuchung erwähnt:

- Punktion eines arteriellen Gefäßes kann nie völlig ausgeschlossen werden.
- Der Pneumothorax ist bei der Subclaviapunktion eine typische Komplikation. Anatomische Kenntnisse sind darum äußerst wichtig.
- Bei Pulmonalklappeninsuffizienz sowie bei geknicktem Katheterschaft kann es zu Schlingenbildung kommen. Durch vorheriges Inspizieren des Katheters und nicht zu schnelles Vorschieben kann dies in der Regel vermieden werden.
- Bei Shuntvitien kann der Katheter in das linke Herz wandern. Dies kann aber an Hand der Kurvenabweichung sofort erkannt werden.
- Obwohl durch den Ballon an der Katheterspitze die Irritationsgefahr des Myokards geringer ist, muß mit Extrasystolen und Arrhythmien gerechnet werden. Ständige EKG-Überwachung und sofortige Behandlungsmöglichkeit eines Kammerflimmerns muß gegeben sein.

KOMPLIKATIONEN BEIM LIEGENDEN KATHETER

- Um einem Lungeninfarkt vorzubeugen, darf der Wedgedruck nur wenige Sekunden gemessen werden. Voraussetzung dazu ist eine frei im Gefäßlumen liegende Katheterspitze und eine kontinuierliche Drucküberwachung.
- Bei Gerinnungsstörung, insbesondere bei einer Thrombose-

neigung, sollte die Indikation für den Rechtsherzkatheter streng gestellt werden.

- Eine Thrombosierung der Katheterlumina kann mit einer Dauerspülung, der bei Bedarf Heparin zugesetzt werden kann, vermieden werden.
- Durch steriles und schonendes Vorgehen beim Legen und Pflegen eines solchen Katheters läßt sich die Komplikationsrate der Thrombophlebitis oder gar Sepsis gering halten. Aus dem gleichen Grund sollte die Liegedauer so kurz wie möglich sein, im Regelfall nicht länger als 72 Stunden.
- Der Ballon darf maximal mit dem auf dem Katheter vermerkten Gasvolumen gefüllt werden, um eine Ruptur des Ballons zu vermeiden. Zur Füllung des Ballons sollte wegen der Gefahr der Luftembolie nur Kohlendioxid benutzt werden.
- Selten kommt es zur Gefäßperforation durch den Katheter; (insbesondere aber) bei veränderten Lungengefäßen, wie sie z.B. bei pulmonaler Hypertension vorliegen ist erhöhte Vorsicht geboten.

KOMPLIKATIONEN BEIM ZIEHEN DES KATHETERS

- Beim Zurückziehen des Katheters sollte der Ballon zu ca. 50% gefüllt sein, um eine unnötige Irritation des Myokards zu umgehen.

- Das Abschneiden des Katheters mit der Folge der Katheterembolie ist heute durch Verwendung spezieller Einführungsbestecke ganz zu vermeiden.

Anzahl der bei 6438 Einschwemmkatheteruntersuchungen aufgetretenen Komplikationen von 64 Einschwemmkatheter-meßplätzen in Deutschland:

Komplikationen	n	%
	6438	100,00
Kammerflimmern, davon:	20	0,31
a) spontane Rhythmisierung	7	0,11
b) Defibrillation	12	0,19
c) mit Exitus	1	0,02
Kammertachykardie über mind. 30 sec	16	0,25
Vorhofflimmern	11	0,17
Thrombophlebitis	77	1,20
Abschneiden des Katheters	10	0,16
Knotenbildung	28	0,43
Bakterielle Sepsis	3	0,05
GESAMT	165	2,56

(aus: REINDELL, H.; ROSKAMEN, H.; Herzkrankheiten)

AUSSAGEMÖGLICHKEITEN

- Das Verhältnis von enddiastolischem Ventrikeldruck zur ventrikulären Schlagarbeit ermöglicht eine quantitative Beurteilung der rechts- und linksventrikulären Funktion. Der enddiastolische Druck ist im rechten Ventrikel direkt zu messen, links stellt der Wedgedruck unter bestimmten Voraussetzungen ein brauchbares Maß für den linken Vorhofdruck dar. Außer bei Mitralklappeninsuffizienz repräsentiert dieser den enddiastolischen Druck im linken Ventrikel.
- Eine Beurteilung des Volumenzustandes ist auf Grund der meßbaren Drücke möglich. Mit der Thermodilution kann als dynamische Größe das Herzzeitvolumen bestimmt werden.
- Gemischtvenöses Blut aus der Arteria pulmonalis birgt Informationen über die metabolische Situation. So lassen sich der O_2-Verbrauch, die O_2-Transportkapazität und die O_2-Extraktionsrate berechnen.
- Eine differenzierte Beurteilung der pulmonalen Gasaustauschfunktion ergibt die Bewertung des pulmonalen Rechts-Links-Shunts und des alveoloarteriellen Sauerstoffgradienten.

11.3. LITERATURVERZEICHNIS

1) SWAN H.J.C., GANZ W., FORRESTER J.S. et al.:
Catheterization of the Heart in Man with the use of a Flow-Directed Balloon-Tipped Catheter.
N. Engl. J. Med. 283: 447-451 (1970).

2) CHAN G.M.H., ELLESTAD M.H.:
Perforation of the Pulmonary Artery by a SWAN - GANZ Catheter.
N. Engl. J. Med. 284: 1041-1042 (1971).

3) LIPP H.M.B., O' DONOGHUE K., RESNEKOV L.:
Intracardiac Knotting of a Flow-Directed Balloon Catheter.
N. Engl. J. Med. 284: 220 (1971)

4) FOOTE G.A., SCHABEL S.J., HODGES M.:
Pulmonary Complications of the Flow-Directed Balloon-Tipped Catheter.
N. Engl. J. Med. 290: 927-931 (1974).

5) GOLDEN M.S., PINDER T., ANDERSON P. et al.:
Fatal Pulmonary Hemorrhage Complicating Use of a Flow-Directed Balloon-Tipped Catheter in a Patient Receiving Anticoagulant Therapy.
Am. J. Cardiol. 32: 865-867 (1973).

6) VEREL D., GRAINGER R.G.:
Cardiac Catheters
In: VEREL D., GRAINGER R.G.: Cardiac Catheterization and Angiography.
Edinburgh, London, Churchvill, Livingstone 51-58 (1973).

7) VEREL D., GRAINGER R.G.:
Insertion of a Cardiac Catheter.
In: VEREL D., GRAINGER R.G.: Cardiac Catheterization and Angiography.
Edinburgh, London, Churchvill, Livingstone 59-67 (1973).

8) VEREL D., GRAINGER R.G.:
Right Heart Catheterization.
In: VEREL D., GRAINGER R.G.: Cardiac Catheterization and Angiography.
Edinburgh, London, Churchvill, Livingstone 68-80 (1973).

9) VEREL D., GRAINGER R.G.:
Complications of Cardiac Catheterization.
In: VEREL D., GRAINGER R.G.: Cardiac Catheterization and Angiography.
Edinburgh, London, Churchvill, Livingstone 128-136 (1973).

10) VEREL D., GRAINGER R.G.:
Assessment of Result.
In: VEREL D., GRAINGER R.G.: Cardiac Catheterization and Angiography.
Edinburgh, London, Churchvill, Livingstone 137-157 (1973).

11) BARRY W.H., GROSSMAN W.:
Cardiac Catheterization.
In: BRAUNWALD E.: Heart Disease, A Textbook of Cardiovascular Medicine.
Philadelphia, London, Toronto, W.B. Saunders Company 278-307 (1980).

12) BRAUNWALD E., GORLIN R., McINTOSH H., ROSS R.S., RUDOLPH A.M., SWAN H.J.C.:
Introduction.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 1-4 (1968).

13) SWAN H.J.C.:
Data Acquisation and Handling.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 5-7 (1968).

14) BRAUNWALD E., GORLIN R.:
Total Population Studied, Procedures Employed and Incidence of Complications.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 8-16 (1968).

15) BRAUNWALD E.:
Death Related to Cardiac Catheterization.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 17-26 (1968).

16) McINTOSH H.D.:
Arrhythmias.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 27-35 (1968).

17) GORLIN R.:
Perforations and Other Cardiac Complications.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 36-38 (1968).

18) BRAUNWALD E., GORLIN R., McINTOSH H.D., ROSS R.S., RUDOLPH A.M., SWAN H.J.C.:
Summary.
In: BRAUNWALD E., SWAN H.J.C.: Cooperative Study on Cardiac Catheterization.
Circulation Vol. 37 No. 5 Suppl. III 93-101 (1968).

19) FORRESTER J.S., SWAN H.J.C.:
Direct Assessment of Cardiac Function in Acute Myocardial Infarction.
In: MELTZER L.E., DUNING A.J.: Textbook of Coronary Care
Amsterdam, Experta Medica 733-743 (1972).

20) FRANCH R.H.:
Cardiac Catheterization.
In: HURST J.W., LOGUE R.B., SCHLAUT R.C., WENGER N.K.: The Heart, Arteries and Veins.
New York, St. Louis, San Franzisco, Düsseldorf u.a., McGraw Hill Company 354-376 (1977).

21) NEMES C., NIEMER N., NOAK:
Datenbuch der Anaesthesiologie.
Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag 124-183 (1979).

22) BERK J.L., SAMPLINER J.E., ARTZ J.S. et al.:
Handbook of Critical Care (dt)
Basel, München, Paris, London, New York, Sydney,
Karger 53-168 (1979).

23) LINDERER Th., SCHUSTER H.P., SUTER P. et al.:
Pulmonalisdruckmessung in der internen Intensivmedizin.
Dtsch. med. Wschr. 105: 672-673 (1980).

24) ROSKAMM H., PETERSEN J., GÖRNANDT L.:
Die Herzkatheterung.
In: REINDELL H., ROSKAMM H.: Herzkrankheiten, Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie.
Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 267-282 (1977).

25) PFISTERER M., RITZ R.:
Methoden der Kreislaufüberwachung auf Intensivstationen.
Schweiz. med. Wschr. 110 Nr. 2: 41-44 (1980).

26) GANZ W., DONOSO R., MARCUS H.S.:
A new Technique for Measurement of Cardiac Output by Thermodilution in Man.
Am. J. Cardiol. 27: 392-396 (1971).

27) WOLFF G., GRÄDEL E., GASSER D.:
Die künstliche Beatmung auf Intensivstationen.
Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 28-54 (1977).

28) CIVETTA J.M., GABEL J.C.:
Flow-Directed Pulmonary Artery Catheterization in surgical Patients.
Indications and Modifications of Techniques.
Am. Surg. 176: 753-756 (1972).

29) CERRA F., MILCH R., LAJOS T.Z.:
Pulmonary Artery Catheterization in Critical III Surgical Patients.
Am. Surg. 177: 37-39 (1973).

30) RUTISHAUER W., KRAYENBÜHL H.P.:
Herz.
In: SIEGENTHALER W.: Klinische Pathophysiologie.
Stuttgart, Georg Thieme Verlag: 548-610 (1979).

31) BAUM M.:
Biotechnische Meß- und Überwachungsmethoden in der Anaesthesie.
In: BENZER H., FREY R., HÜGIN W., MAYRHOFER O.: Lehrbuch der Anaesthesiologie, Reanimation und Intensivmedizin.
Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 47-70 (1977).

32) BENUMOF J.L., SAIDMAN L.J., ARKIN D.B. et al.:
Where Pulmonary Arterial Catheters Go: Intrathoracic Distribution.
Anesthesiology 46: 336 (1977).

33) ETLING T.:
Septicamia Rate Using SWAN - GANZ Catheters.
Crit. Care Med. 6: 129 (1978).

34) JOHANSSON L., MALSTROM G., UGGLIA L.G.:
Intracardiac Knotting of the Catheter in Heart Catheterization.
I. Thoracic Surg 27: 605-607 (1954).

35) KLOSTER F.E., BRISTOW J.D., SEAMAN A.J. et al.:
Cardiac Catheterization during Anticoagulant Therapy.
Am. J. Cardiol. 28: 675-678 (1971).

36) GAZES P.C., GADDY J.E.:
Bedside Management of Acute Myocardial Infarction.
Amer. Heart J. 97: 782 (1979).

37) SWAN H.J.C., ZAPATA-DIAZ J., WODD E.H.:
Dye Dilution Curves in Cyanotic Congenital Heart Disease.
Circulation 8: 70 (1953).

38) CARTER S.A., BAJEC D.F., YANCELLI E. et al.:
Estimation of left to right Shunt from Arterial Dilution Curves.
J. Lab. clin. Med. 55: 77 (1960).

LEBENSLAUF

Am 18.05.1955 wurde ich, Christoph Wiemer, als Sohn des Frauenarztes Dr. med. Gunther Wiemer und der Hals-Nasen-Ohren-Ärztin Dr. med. Anna Wiemer, geb. Kerschensteiner, und einziger Bruder von zwei Schwestern in Herne geboren. Die Konfession ist römisch-katholisch.

Von 1962 bis 1966 besuchte ich die Volksschule Kronenstraße in Herne. 1966 wechselte ich auf das Otto-Hahn-Gymnasium in Herne, wo ich auf dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig am 10.06.1974 das Abitur ablegte.

Vom 01.07.1974 bis zum 30.06.1976 leistete ich meinen Wehrdienst als Freiwilliger bei den Gebirgsjägern in Mittenwald ab.

Am 01.10.1976 begann ich an der Rijksuniversitair Centrum te Antwerpen in Antwerpen (Belgien) das Medizinstudium, wo ich am 30.09.1977 den ersten Teil des Kandidatsexamens in den medizinischen Wissenschaften ablegte.

Am 20.02.1978 wechselte ich von Antwerpen nach Münster an die Westfälische Wilhelms-Universität.

Nach Ablegen der 1. ärztlichen Vorprüfung immatrikulierte ich mich an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen. Hier legte ich am 2.4.1982 den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung ab.

Nach dem Praktischen Jahr am Kreiskrankenhaus Göppingen schloß ich mein Studium an der Universität Ulm mit dem dritten Abschnitt der ärztlichen Prüfung am 20.4.1983 ab.